

مدلسازی و حل مسئله‌ی تصادفی پوشش حداکثری تسهیلات پیشگیرانه‌ی متعدد با الگوریتم‌های فراابتکاری

زهرة خلیل‌پور

گروه مهندسی صنایع، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران؛ Zohreh.khalilpour@gmail.com

مهدي يوسفی نژاد عطاری

(نویسنده مسئول) استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران*

چکیده پژوهش حاضر در مورد مکان‌یابی تسهیلات پیشگیرانه می‌باشد. خدمات مؤثر مراقبت‌های بهداشتی پیشگیرانه، نقش مهمی در کاهش هزینه‌های پزشکی و مرگ و میر در همه‌ی جوامع انسانی دارند و سطح دسترسی مشتریان به این خدمات می‌تواند به عنوان مقیاس کارایی و تأثیرشان بررسی شود. برای اینکه مشکل انتظار و صف حل شود یک مسئله‌ی دوهدفه‌ی ریاضی و غیرخطی ارائه شده تا موضوع کاهش حداکثر زمان انتظار مراجعه کنندگان با هدف افزایش حداکثر مقدار پوشش‌دهی بررسی گردد. روش تحقیق پژوهش حاضر از نوع مدلسازی ریاضی است. تجزیه و تحلیل اطلاعات با استفاده از نرم‌افزار Matlab انجام شده و جواب‌های بدست آمده از الگوریتم‌های متاهیورستیک در نرم‌افزار Minitab مقایسه شده است. از نتایج این تحقیق، می‌توان به افزایش پوشش توسط تسهیلات پیشگیرانه و افزایش زمان انتظار اشاره نمود. از دیگر نتایج این تحقیق، مقایسه‌ی کارایی هر یک از الگوریتم‌های فرا ابتکاری NSGAII و MOIWO نسبت به شاخص‌های تعریف شده می‌باشد.

کلمات کلیدی: مکان‌یابی تسهیلات پیشگیرانه، مدل بهینه‌سازی چندهدفه، تئوری صف، متاهیورستیک

* (Corresponding author) Mahdi_108108@yahoo.com

۱- مقدمه

هدف از مراقبت‌های بهداشتی پیشگیرانه کاهش احتمال و شدت بیماری‌های بالقوه‌ی تهدیدکننده‌ی حیات با محافظت و تشخیص زودهنگام است. سطح مشارکت در برنامه‌های مراقبت‌های بهداشتی پیشگیرانه، از لحاظ کارایی و بهره‌وری آنها تعیین کننده‌ی حیاتی است. آنفلونزا، آزمایش خون، ماموگرافی در میان خدمات پیشگیرانه، شناخته شده است. صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌های تشخیص و درمان در ارتباط با برنامه‌های مراقبت‌های پیشگیرانه بهداشتی به مدت سه دهه به رسمیت شناخته شده است [۱]. به عنوان مثال، مطالعات نشان می‌دهد که ماموگرافی‌هایی که به صورت منظم صورت می‌گیرند، توانایی کاهش مرگ و میر ناشی از سرطان پستان را برای زنان بین ۵۰ تا ۶۹ ساله تا ۴۰٪ کاهش می‌دهند [۲].

گرونیك و همكاران [۳] دریافتند که ۳۶٪ از بیماران مبتلا به سرطان پستان بدون یک ماموگرافی سرطان دیر تشخیص داده شده، در حالیکه این نسبت برای گروه بیمار با یک ماموگرافی ۲۰٪ بود. در مقایسه با افراد بیمار که نیازمند مراقبت‌های پزشکی فوری هستند، مشتریان بالقوه‌ی مراقبت‌های بهداشتی پیشگیرانه اغلب نیازی به دریافت این خدمات ندارند و ممکن است در برنامه‌های پیشگیرانه‌ی ارائه شده در منطقه‌ی خود شرکت نکنند. برنامه‌های پیشگیرانه می‌توانند جان انسان‌ها را نجات دهند و با کاهش نیاز به درمان‌های اساسی مانند جراحی یا شیمی‌درمانی به کیفیت زندگی بهتر کمک کنند. طبق سازمان جهانی بهداشت [۴] اگر چه بسیاری از بیماری‌ها را می‌توان پیشگیری کرد، سیستم مراقبت‌های بهداشتی در حال حاضر بهترین استفاده از منابع موجود برای حمایت از برنامه‌های پیشگیرانه را نمی‌دهد. اکثر این سیستم‌ها مبتنی بر پاسخ به مشکلات حاد، نیاز فوری بیماران و نگرانی‌های فوری هستند. تهیه می‌کنند، ایجاد می‌شود.

خدمات موثر مراقبت‌های بهداشتی پیشگیرانه، نقش مهمی در کاهش هزینه‌های پزشکی و مرگ و میر در همه‌ی جوامع انسانی دارند و سطح دسترسی مشتریان به این خدمات می‌تواند به عنوان مقیاس کارایی و تاثیرشان بررسی شود. هدف اصلی، توسعه‌ی مدل طراحی شبکه‌ی خدماتی تسهیلات مراقبت‌های بهداشتی پیشگیرانه با هدف اصلی حضور حداکثر در خدمات پیشنهاد شده می‌باشد [۵]. در حالیکه بررسی محدودیت‌های سود و ترکیب الاستیسته‌ی تقاضای مشتریان به دلیل فاصله‌ی مسافت و تراکم تاخیرها، تعداد بهینه، مکان‌یابی و ظرفیت تسهیلات بعلاوه تخصیص تسهیلات به مشتری تعریف می‌شوند. مسئله‌ی طراحی شبکه‌ی خدماتی با هدف اولیه‌ی افزایش دسترسی مشتریان به تسهیلات مراقبت‌های بهداشتی پیشگیرانه مطالعه می‌شود. در واقع کلینیک‌های کافی با ظرفیت خدماتی مناسب در مکان‌های مناسب به منظور ارائه‌ی چنین خدماتی لازم است. هدف

این کلینیک‌ها، اجتناب از سختی‌های بیماری‌های پیشگیرانه و همچنین کنترل آنهاست. تعداد مناسبی از تسهیلات، مکان و ظرفیت آنها بعلاوه تسهیلات تخصیص یافته به مشتریان، در این مسئله مشخص شده است. فاصله‌ی حرکت تعیین کننده است و فرض کردن الاستیسته‌ی تقاضا به دلیل فاصله‌ی حرکت و زمان خدمت‌رسانی تسهیلات، منجر به تراکم تاخیرها می‌شود. مراقبت‌های بهداشتی پیشگیرانه می‌کوشد، احتمال بیماری‌های تهدیدکننده‌ی حیات و تشخیص اولیه‌ی حالات پزشکی خطرناک را کاهش دهد. از بین معروف‌ترین خدمات پیشگیرانه: ایمنی‌سازی، آزمایش خون و بررسی‌های غربالگری سرطان هستند. عقل سلیم بیان می‌کند احتمال بهبودی زیاد است اگر بیماری در مراحل اولیه تشخیص داده شود. پس استفاده‌ی درست از خدمات پیشگیرانه می‌تواند کارایی کلی و تاثیر سیستم مراقبت‌های بهداشتی ناحیه‌ای را تقویت کند. تاکید افزوده بر خدمات پیشگیرانه بخش مهمی از برنامه‌های اصلاحی مراقبت‌های بهداشتی در دهه‌ی گذشته است [۶]. خدمات پیشگیرانه به مردمانی بدون علائم آشکار یک بیماری، ارائه می‌شوند. در مقابل افراد بیماری که نیاز به توجه فوری پزشکی دارند، افراد سالم انعطاف بیشتری به مکان و زمان دریافت خدمات دارند. پس دسترسی به تسهیلات عامل مهمی در موفقیت برنامه‌های مراقبت‌های بهداشتی پیشگیرانه است. مطالعات گذشته نشان داده است که افراد سالم به طور قابل توجهی مایلند فواصل کمتری را نسبت به افراد بیمار طی کنند تا خدمات پزشکی دریافت کنند [۷]. اگر خدمات در مکان‌های مناسبی ارائه نشوند احتمالاً مردم در آن حاضر نخواهند شد. عامل مهم دیگر، رابطه‌ی آشکار بین حجم و کیفیت خدمات مراقبت‌های بهداشتی پیشگیرانه است. در مسائل بهداشتی، پیشگیری راحت‌تر از درمان است اگر یک بیماری در مرحله‌ی اولیه تشخیص داده شود غالباً احتمال بهبودی وجود دارد. ذخیره‌ی اساسی در هزینه‌های تشخیص و درمان بعلاوه‌ی سرمایه‌گذاری اندک که مربوط به برنامه‌های مراقبت‌های بهداشتی پیشگیرانه است در طی سه دهه مشخص شده‌اند [۱]. برنامه‌های پیشگیرانه می‌توانند زندگی را نجات دهند و به کیفیت زندگی بهتر با کاهش نیازهای درمانی آزاد مثل جراحی و شیمی‌درمانی منجر شوند. مراقبت‌های بهداشتی پیشگیرانه تلاش می‌کند احتمال و شدت بیماری‌های تهدیدکننده‌ی حیات را با حفاظت و تشخیص اولیه، کاهش دهد. سطح حضور در برنامه‌های مراقبت‌های بهداشتی پیشگیرانه یک عامل ضروری در مفاهیم تأثیر و کارایی آنها می‌باشد. جدول (۱) خلاصه‌ای از تحقیقات صورت گرفته در راستای تسهیلات پیشگیرانه را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مقایسات مطالعات پیشین

| مطالعه موردی | مدل صف | تکنیک‌های حل | | | تابع هدف | | عدم قطعیت | | | | مدل | مرجع | |
|-----------------|--------|--------------|----------|------|----------|---------|-----------|--------|--------|------|-----|-------|--------------|
| | | متاهورستیک | شبه‌سازی | دقیق | چندهدفه | تک‌هدفه | احتمالی | روباست | تصادفی | فازی | | | |
| - | M/G/1 | • | - | - | • | - | - | - | - | - | • | - | [۸] |
| لئون (اسپانیا) | - | • | - | - | - | • | - | - | - | - | • | MIP | [۹] |
| فولتون، مونترال | - | - | - | • | - | • | - | - | - | - | • | - | [۱۰] |
| - | - | • | - | - | • | - | - | - | - | - | • | - | [۱۱] |
| - | - | • | - | - | - | • | • | - | - | - | - | - | [۱۲] |
| مونترال | - | • | - | - | - | • | - | - | - | - | • | - | [۱۳] |
| مونترال | - | • | - | • | - | • | - | - | - | - | • | - | [۱۴] |
| - | - | • | - | - | - | - | - | - | - | - | • | - | [۱۵] |
| - | - | - | • | - | - | • | - | - | - | - | • | DP | [۱۶] |
| - | - | • | - | - | - | • | - | - | - | - | • | - | [۱۷] |
| مونترال | M/M/1 | - | - | • | • | - | • | - | - | - | - | MIP | [۱۸] |
| شیراز (ایران) | M/M/1 | - | - | • | - | • | - | - | • | - | - | - | [۱۹] |
| - | M/M/M | • | - | - | • | - | - | - | • | - | - | MINLP | تحقیق پیش‌رو |

$S \subseteq X$ مجموعه مراکز مستقر شده است. فرض می‌گردد که در هر مرکز k نوع خدمت پیشگیرانه عرضه می‌گردد به عبارت دیگر، در هر مرکز چند نوع صف متفاوت از یکدیگر برای دریافت خدمات پیشگیرانه وجود دارد. تمام مراکز برای خدمت پیشگیرانه‌ی نوع k از دستگاه‌هایی با یک سطح فناوری استفاده می‌کنند؛ به عبارت دیگر Q_{max}^k تجهیز با یک سطح فناوری برای خدمت نوع k در سراسر شبکه موجود است؛ بنابراین زمان خدمت‌دهی تجهیز نوع k دارای توزیع نمایی با میانگین μ_k است که به هر مرکز می‌تواند بیش از یک تجهیز از هر نوع اختصاص یابد. این مساله با الگوریتم ژنتیک حل و جواب‌های حاصل از این الگوریتم مورد استفاده قرار گرفته است [۲۰]. مشتریان به سمت مراکز خدمت‌دهی حرکت و مراکز با کم‌ترین زمان سفر و کم‌ترین زمان انتظار در مرکز را با احتمال بیش‌تر انتخاب می‌کنند. عامل بسیار مهم در پیکربندی شبکه‌ی سلامت پیشگیرانه، ارتباط بین حجم و کیفیت در خدمات سلامت پیشگیرانه است؛ به عنوان مثال، یک رادیولوژیست باید حداقل ۹۶۰ ماموگرافی و یک تکنیسین رادیولوژی ۲۰۰ ماموگرافی را در ۲۴ ماه انجام دهد؛ تا از سوی وزارت بهداشت اعتبار نامی خود را کسب کند. در واقع، مراکز که نتوانند این حداقل حجم کاری را

در مقالات قبلی به موضوع مساله‌ی تصادفی پوشش حداکثری تسهیلات پیشگیرانه پرداخته شده است لکن تعداد خدمت‌دهنده‌ها یک مورد در نظر گرفته شده است ولی در این تحقیق با توسعه‌ی مدل‌های قبلی جهت ارائه‌ی حداکثر پوشش توسط تسهیلات پیشگیرانه تعداد خدمت‌دهنده‌ها بیشتر از یک مورد تعریف شده است و از مدل $M/M/M$ در این خصوص استفاده شده است. در این مدل ورود تقاضا و زمان ارائه‌ی خدمت به ترتیب از توزیع‌های پواسون و نمایی تبعیت می‌کند.

۲- روش پژوهش

سیستم تحت بررسی به صورت یک شبکه نشان داده شده است؛ به طوری‌که گره‌ها مناطق جمعیتی یا مکان‌های بالقوه جهت استقرار و کمان‌ها مسیرهای اصلی بین دو گره است. N ($|N|=n$) مناطق جمعیتی و $i \in N$ نسبت جمعیت ساکن در منطقه‌ی i را نشان می‌دهند. فرض می‌شود که تعداد مشتریانی که در سراسر شبکه نیاز به خدمات دارند دارای توزیع پواسون با نرخ λ در هر واحد زمان و هر منطقه دارای نرخ $\lambda h_i, i \in N$ است. همچنین، یک مجموعه‌ی محدود از مکان‌های بالقوه مانند X برای استقرار مراکز وجود دارد به طوری که

$$\text{Min } Z_2 = \max(\bar{\omega}^j)^s = \max \left(\frac{\pi_{0j}^k}{B_j^{ks!} \lambda_j^{ks}} \right) \left(\frac{\lambda_j^{ks}}{\mu_k^s} \right)^{B_j^{ks}} \left(\frac{\lambda_j^{ks}}{1 - \left(\frac{\lambda_j^{ks}}{B_j^{ks} \mu_k^s} \right)^z} \right) + \frac{1}{\mu_k^s} \quad (2)$$

S. t

$$\lambda^s p_k \sum_i h_i a_{ij} \geq R_{\min}^k y_j \quad \forall j, k, s \quad (3)$$

$$\sum_j B_j^k \leq Q_{\max}^k \quad \forall j, k \quad (4)$$

$$y_j \leq B_j^k \leq M M y_j \quad \forall j, k \quad (5)$$

$$\lambda^s p_k \sum_i h_i a_{ij} \leq B_j^k \mu_k^s \quad \forall j, k, s \quad (6)$$

$$a_{ij}^s = \frac{e^{-\beta t} t_{ih} - \beta \bar{\omega}_j^s}{1 + \sum_{k \in X} e^{-\beta t} t_{ij} - \beta \bar{\omega}_j^s} \quad \forall i, j, s \quad (7)$$

$$\lambda_j^s = \lambda^s \sum_i h_i a_{ij}^s \quad \forall j, s \quad (8)$$

$$\lambda_j^{ks} = p_k \lambda_j^s \quad \forall j, k, s \quad (9)$$

$$\pi_{0j}^{ks} = \left(\sum_{n=0}^{B_j^k-1} \left(\frac{\lambda_j^{ks}}{\mu_k^s} \right)^n \left(\frac{1}{n!} \right) \right) \quad (10)$$

$$+ \left(\frac{1}{B_j^k!} \right) \left(\frac{\lambda_j^{ks}}{\mu_k^s} \right)^{B_j^k} \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{\lambda_j^{ks}}{B_j^k \mu_k^s} \right)} \right)^{-1} \quad \forall j, k, s$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad . B_j^k = \text{Integer} \quad . j \in X, k = 1, \dots, K \quad (11)$$

روابط (۱) و (۲) نشان دهنده‌ی توابع هدف می‌باشند که تابع هدف اول افزایش حداکثر مقدار پوشش و تابع هدف دوم کاهش حداکثر زمان انتظار است. مراکز هنگامی می‌توانند فعال شوند که حجم کار آن‌ها از یک مقدار کمینه بیش‌تر شود؛ محدودیت (۳) به این امر اشاره دارد. محدودیت (۴) حداکثر تجهیزات موجود در سراسر شبکه را نشان می‌دهد. محدودیت (۵) بیان می‌کند که تجهیزات تنها به مراکز باز شده می‌توانند تخصیص پیدا کنند. محدودیت (۶) پایداری سیستم صف را تضمین می‌کند. روابط (۷) تا (۱۰)، روابط کمکی هستند.

۳- تحلیل نتایج

۳-۱- ساختار کروموزوم‌ها

در هر دو الگوریتم ژنتیک چندهدفه و علف هرز چندهدفه می‌توان از نمایش جواب پیوسته برای اجرای الگوریتم استفاده کرد. در این مساله برای نمایش هر جواب از مساله از یک رشته‌ی عددی پیوسته استفاده می‌شود. این رشته‌ی پیوسته با نگاشتی یک به یک، به یک جواب از نمود مساله مربوط می‌گردد. هر بار الگوریتم جوابی را تولید می‌کند، میزان برازندگی آن باید سنجیده شود. برای این کار ابتدا با استفاده از نگاشتی که توضیح داده می‌شود به جواب مساله می‌رسیم و سپس برازندگی آن جواب را به دست می‌آوریم. J تعداد مراکز، K تعداد خدمات‌ها می‌باشد. برای مثال با دو مرکز و ۳ نوع خدمت، نمایش جواب

برآورده کنند به عنوان مرکز بی کیفیت شناخته شده و از ورود آن‌ها به شبکه جلوگیری می‌شود. این امر تلویحاً، باعث احداث مراکز در مناطق پرجمعیت‌تر می‌شود و مانع از صرف هزینه‌های اضافی جهت احداث مراکز در مناطق کم جمعیت‌تر می‌گردد؛ به عبارت دیگر با این شرط به هر مرکز اجازه‌ی احداث داده نمی‌شود و نیازی به محدودیت حداکثر تعداد مراکز مجاز جهت افتتاح که محدودیت ساختاری ایجاد می‌کند، نیست. در این بخش یک مدل دوهدفه ارائه شده است، نمادهای استفاده شده به شرح زیر است:

اندیس‌ها

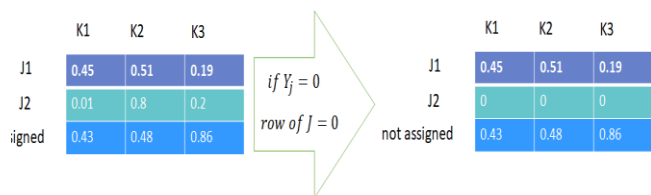
| | |
|-----------|---|
| $i \in N$ | شمارنده‌ی گروه‌های مشتری (مناطق جمعیتی) |
| $j \in X$ | شمارنده‌ی مکان‌های بالقوه جهت خدمت‌دهی |
| K | نوع خدمت |

پارامترها

| | |
|---------------|--|
| N | مجموعه گروه‌های مشتری (مناطق جمعیتی) |
| X | مجموعه مکان‌های بالقوه جهت استقرار مراکز خدمت‌دهی |
| B | مجموعه‌ی مراکز مستقر شده جهت خدمت‌دهی |
| B_j^k | تعداد تسهیلاتی که مرکز j ام خدمت k ام را ارائه می‌دهد. |
| h_i | نسبت ساکنان منطقه‌ی جمعیتی i |
| λ | نرخ تقاضای خدمت در سراسر شبکه در واحد زمان |
| μ_k | متوسط نرخ خدمت تجهیزات خدمت‌دهی نوع k در واحد زمان |
| P_k | احتمال درخواست خدمت نوع k توسط مشتریان در سرتاسر شبکه |
| t_{ij} | زمان سفر مشتری از منطقه‌ی i ام به مرکز j ام |
| a_{ij} | نسبت مشتریان منطقه‌ی i ام از مرکز j ام |
| L | تعداد عوامل جذب |
| λ_j | نرخ تقاضای مشتری از مرکز j ام |
| R_{\min}^k | مقدار حجم کاری کمینه برای شروع به کار مراکز جهت خدمت نوع k |
| Q_{\max}^k | تعداد کل تجهیزات موجود برای خدمت نوع k در سراسر شبکه |
| π_{0j}^k | احتمال وجود صفر مشتری مرکز j ام جهت دریافت خدمت k ام |
| β_l | وزن متناظر با عامل جذب l ام |
| \bar{W}_j^k | متوسط زمان صرف شده در مرکز j ام توسط مشتری |
| MM | عدد خیلی بزرگ |
| S | تعداد سناریوها |

با توجه به پارامترها، شاخص‌ها و متغیرهای تصمیم تعریف شده، فرمول‌بندی مسئله به شرح زیر است:

$$\max Z_1 = \sum_{s=1}^S \pi_s \left[\lambda^s \sum_{k=1}^K P_k \sum_i h_i \sum_j a_{ij}^s \right] \quad (1)$$

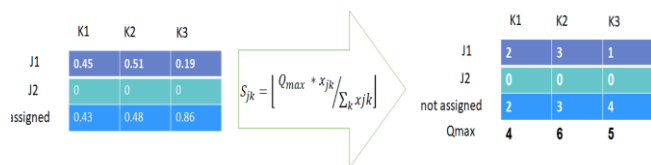


شکل ۴: نحوه‌ی نمایش متغیر S_{jk}

سپس با رابطه (۱۲) که عکس عمل استانداردسازی می‌باشد، تعیین می‌کنیم که چه تعداد از هر خدمت به هر مرکز (شامل مرکز مجازی) تخصیص داده می‌شود.

$$S_{jk} = \left\lfloor \frac{Q_{max} * x_{jk}}{\sum_k x_{jk}} \right\rfloor \quad (12)$$

مطابق شکل (۵)، با توجه به این که تمام تسهیلات Q_{max} تخصیص داده می‌شوند، یک مرکز مجازی نیز در نظر گرفته می‌شود که تخصیص تسهیلات به آن مرکز را معادل بی‌استفاده ماندن تسهیلات در نظر می‌گیریم.



شکل ۵: تخصیص تسهیلات مجازی

پس از تعیین مراکز فعال و تعداد تسهیلات خدمت‌دهنده در هر مرکز، با توجه به میزان فاصله‌ی آن مرکز از نقاط تقاضا و تعداد تسهیلات، سیستم شبکه شبیه‌سازی شده و متغیر a_{ij} و همچنین میزان صف در حالت تعادل صف به دست می‌آید. این موضوع در شکل (۶) نشان داده شده است.

| | K1 | K2 | K3 |
|--------------|----|----|----|
| J1 | 2 | 3 | 1 |
| J2 | 0 | 0 | 0 |
| not assigned | 2 | 3 | 4 |
| Qmax | 4 | 6 | 5 |

شکل ۶: نحوه‌ی نمایش متغیر a_{ij}

۲-۳- عملگر تقاطع یکنواخت

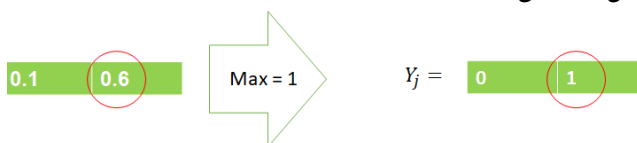
در این عملگر، ابتدا دو والد برای تولیدمثل انتخاب می‌شوند. والدها به ترتیب X_1 و X_2 می‌باشند. هر والد یک رشته به طول N می‌باشد. سپس یک رشته به طول N به صورت تصادفی با اعداد بین صفر و یک با نام α تولید می‌گردد. از این دو والد، دو فرزند Y_1 و Y_2 ایجاد

به صورت شکل (۱) می‌باشد. از J عضو برای نشان دادن باز یا بسته بودن مراکزها استفاده می‌شود. برای هر خدمت نیز یک واحد بیشتر از تعداد مراکز را در نظر می‌گیریم. این یک واحد اضافه، واحد مجازی بوده و تخصیص به آن واحد به معنی بی‌استفاده بودن تسهیلات می‌باشد. بدین ترتیب طول رشته‌ی اعداد گسسته $J+(J+1)*K$ می‌باشد.



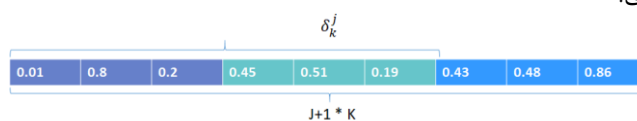
شکل ۱: نمایش جواب

نمایش جواب متشکل از دو بخش است. بخش اول به طول J برای تعیین مقدار Y_j می‌باشد. با توجه به این که تعداد مراکز فعال محدود می‌باشند، باید به تعداد این محدودیت، از مراکز بالقوه فعال گردند. بنابراین، از بزرگترین عدد این بخش شروع می‌کنیم به ۱ در نظر گرفتن Y_j . یعنی اگر قرار است یک مرکز باز باشد، بزرگترین عدد در این بخش معادل یک در نظر گرفته می‌شود. اگر دو یا چند مرکز باید برای باز بودن انتخاب شوند، به ترتیب به همان تعداد از بزرگترین اعضا مساوی یک در نظر گرفته می‌شود. بقیه‌ی اعضا معادل صفر می‌باشند. بدین ترتیب متغیر Y_j از روی نمایش جواب مشخص می‌گردد. این موضوع در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: نحوه‌ی نمایش جواب

در ادامه مطابق شکل (۳) نمایش جواب رشته‌ای به طول $(J+1)*K$ می‌باشد.



شکل ۳: جواب رشته‌ای

در این بخش متغیر S_{jk} تعیین می‌گردد. یعنی تعداد تسهیلاتی که به هر مرکز فعال نسبت داده می‌شود. با توجه به این که به مرکز غیر فعال تسهیلاتی داده نمی‌شود، مطابق شکل (۴) برای J هایی که متغیر Y_j برای آنها صفر شده است، صفر می‌گردد. برای رعایت حداکثر تعداد تسهیلات خدمت‌دهنده Q_{max} ، نمایش جواب به این صورت در نظر گرفته شده است که برای هر K تمام تسهیلات را بین مراکز فعال و یک مرکز مجازی تقسیم می‌کند. در ابتدا این بخش به صورت ستون-هایی با تعداد خدمات تبدیل می‌گردد و سطر مربوط به مراکز که فعال نشده‌اند صفر در نظر گرفته می‌شود. چون به مرکزی که تاسیس نشده، تخصیصی هم داده نمی‌شود.

جدول (۲) و خروجی آن در جداول (۳) و (۴)، نمودارهای (۱-الف) و (۲-الف)، نمودارهای پارتو را نشان داده شده است.

جدول ۲: داده‌های ورودی مدل

| | |
|-----|---|
| ۳۰۰ | مجموعه گره‌های مشتری (مناطق جمعیتی) |
| ۱۰۰ | مجموعه مکان‌های بالقوه جهت استقرار مراکز خدمت‌دهی |
| ۵۰ | مجموعه مراکز مستقر شده جهت خدمت‌دهی |

| | |
|--------------------------|--------------|
| $\lambda=0.4, \mu=[4,8]$ | سناریو اول |
| $\lambda=0.4, \mu=[3,7]$ | سناریو دوم |
| $\lambda=0.4, \mu=[2,9]$ | سناریو سوم |
| $\lambda=0.5, \mu=[4,8]$ | سناریو چهارم |
| $\lambda=0.5, \mu=[3,7]$ | سناریو پنجم |
| $\lambda=0.5, \mu=[2,9]$ | سناریو ششم |
| $\lambda=0.7, \mu=[4,8]$ | سناریو هفتم |
| $\lambda=0.7, \mu=[3,7]$ | سناریو هشتم |
| $\lambda=0.7, \mu=[2,9]$ | سناریو نهم |

می‌گردد که با توجه به α سهمی از هر یک از والدین دارند. یعنی هر زن از هر فرزند از روابط (۱۳) و (۱۴)، با استفاده از زن‌های والدین ایجاد می‌شود. همان‌طور که در شکل (۷) نشان داده شده است، دو فرزند با ارث برابری از دو والد ایجاد می‌گردد.

$$Y_1 = \alpha * X_1 + (1 - \alpha) * X_2 \quad (13)$$

$$Y_2 = \alpha * X_2 + (1 - \alpha) * X_1 \quad (14)$$

| | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|
| والد اول x1 | 0.47 | 0.72 | 0.20 | 0.47 | 0.46 | 0.01 |
| والد دوم x2 | 0.19 | 0.27 | 0.91 | 0.94 | 0.82 | 0.57 |

| | | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| سایک تصادفی α | 0.76 | 0.53 | 0.18 | 0.89 | 0.51 | 0.64 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|

$$y_1 = \alpha * x_1 + (1 - \alpha) * x_2$$

$$y_2 = \alpha * x_2 + (1 - \alpha) * x_1$$

| | | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|------|------|
| فرزند اول y1 | 0.40 | 0.51 | 0.78 | 0.45 | 0.64 | 0.21 |
| فرزند دوم y2 | 0.25 | 0.48 | 0.33 | 0.36 | 0.65 | 0.37 |

شکل ۷: عملگر تقاطع یکنواخت

۳-۳- عملگر جهش چندنقطه‌ای

عملگر جهش بر روی درصدی از اعضای جامعه اعمال می‌گردد و با هر جهش یک عضو جدید در جمعیت جهش یافتگان ایجاد می‌شود. این اعضا ممکن است برانزده‌تر یا بدتر از اعضای جامعه باشند. جهش به الگوریتم شانس می‌دهد تا از همگرایی به بهینه‌ی محلی فرار کند. در این عملگر پس از انتخاب یک عضو برای جهش، با توجه به نرخ جهش μ تعدادی از زن‌های آن عضو انتخاب می‌گردند، و به طور تصادفی تغییر می‌کنند. این موضوع در شکل (۸) نشان داده شده است.

| | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|
| 0.15 | 0.22 | 0.23 | 0.17 | 0.96 | 0.08 |
| 0.15 | 0.71 | 0.23 | 0.17 | 0.96 | 0.21 |

شکل ۸: عملگر جهش چندنقطه‌ای

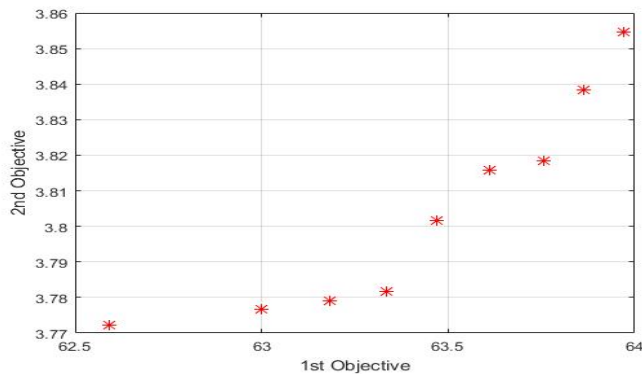
در این بخش الگوریتم‌های ژنتیک چندهدفه و علف‌های هرز چندهدفه در نرم‌افزار Matlab کدنویسی شد. که داده‌های ورودی مدل در

جدول ۳: خروجی مدل برای الگوریتم MOIWO به تفکیک هر سناریو

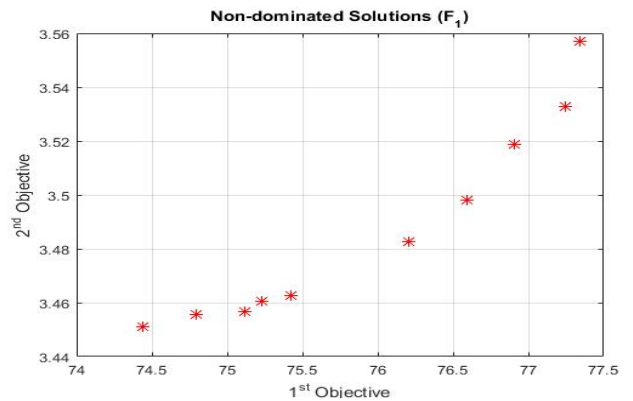
| مثال | تکرار اول | | | تکرار دوم | | | تکرار سوم | | | میانگین | | انحراف معیار | | میانگین زمان |
|----------|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| | Z ₁ | Z ₂ | زمان | Z ₁ | Z ₂ | زمان | Z ₁ | Z ₂ | زمان | Z ₁ | Z ₂ | Z ₁ | Z ₂ | |
| سناریو ۱ | ۶۱.۶۴ | ۳.۰۳ | ۶۶۲.۱۰ | ۶۲.۰۸ | ۳.۰۴ | ۶۴۷.۳۸ | ۶۲.۲۱ | ۳.۰۵ | ۶۵۰.۸۷ | ۶۱.۹۸۰ | ۳.۰۴۶۱ | ۰.۳۰۰ | ۰.۰۰۶ | ۶۵۳.۴۵۳ |
| سناریو ۲ | ۵۱.۴۱ | ۳.۲۹ | ۶۴۷.۴۲ | ۵۱.۷۰ | ۳.۳۲ | ۶۴۷.۵۹ | ۵۱.۵۳ | ۳.۳۱ | ۶۴۸.۲۲ | ۵۱.۵۵۲ | ۳.۳۱۴ | ۰.۱۴۷ | ۰.۰۱۵ | ۶۴۷.۷۵۲ |
| سناریو ۳ | ۵۳.۳۲ | ۳.۲۸ | ۶۴۸.۶۴ | ۵۳.۱۱ | ۳.۲۵ | ۶۴۹.۲۷ | ۵۳.۰۴ | ۳.۲۵ | ۶۴۸.۴۱ | ۵۳.۱۵۹ | ۳.۲۶۵ | ۰.۱۴۳ | ۰.۰۱۳ | ۶۴۸.۷۷۵ |
| سناریو ۴ | ۶۷.۱۵ | ۳.۲۱ | ۵۵۷.۸۶ | ۶۶.۸۳ | ۳.۲۲ | ۶۴۷.۸۱ | ۶۷.۴۲ | ۳.۲۳ | ۶۴۸.۳۶ | ۶۷.۱۳۷ | ۳.۲۲۴ | ۰.۲۹۸ | ۰.۰۱۱ | ۶۱۸.۰۱۶ |
| سناریو ۵ | ۵۵.۰۷ | ۳.۵۶ | ۶۵۴.۱۰ | ۵۴.۷۵ | ۳.۵۶ | ۶۴۹.۵۹ | ۵۴.۸۳ | ۳.۵۳ | ۶۴۹.۰۷ | ۵۴.۸۹۰ | ۳.۵۵۵ | ۰.۱۶۳ | ۰.۰۱۴ | ۶۵۰.۹۲۵ |
| سناریو ۶ | ۵۶.۹۳ | ۳.۴۹ | ۶۴۸.۱۸ | ۵۶.۸۹ | ۳.۴۹ | ۶۵۰.۰۳ | ۵۶.۸۶ | ۳.۴۸ | ۶۵۰.۶۰ | ۵۶.۸۹۸ | ۳.۴۹۱ | ۰.۰۳۵ | ۰.۰۰۴ | ۶۴۹.۶۰۶ |
| سناریو ۷ | ۷۶.۰۹ | ۳.۴۸ | ۶۱۲.۲۱ | ۷۵.۹۴ | ۳.۴۸ | ۶۳۴.۵۶ | ۷۷.۰۴ | ۳.۵۰ | ۶۴۷.۸۷ | ۷۶.۳۶۲ | ۳.۴۹۳ | ۰.۵۹۶ | ۰.۰۰۸ | ۶۳۱.۵۵۵ |
| سناریو ۸ | ۶۰.۲۹ | ۳.۹۰ | ۶۴۸.۳۰ | ۵۹.۸۵ | ۳.۸۸ | ۵۹۸.۰۳ | ۶۰.۱۵ | ۳.۹۰ | ۵۴۷.۶۸ | ۶۰.۱۰۲ | ۳.۸۹۷ | ۰.۲۲۲ | ۰.۰۰۹ | ۵۹۸.۰۰۸ |
| سناریو ۹ | ۶۲.۸۸ | ۳.۸۱ | ۵۸۹.۲۷ | ۶۲.۳۵۸ | ۳.۷۹ | ۶۴۸.۳۲ | ۶۲.۷۹ | ۳.۸۰ | ۴۸۹.۷۰ | ۶۲.۶۸۱ | ۳.۸۰۸ | ۰.۲۸۳ | ۰.۰۰۹ | ۵۷۵.۷۶۸ |

جدول ۴: خروجی مدل برای الگوریتم NSGAI به تفکیک هر سناریو

| مثال | تکرار اول | | | تکرار دوم | | | تکرار سوم | | | میانگین | | انحراف معیار | | میانگین زمان |
|----------|----------------|----------------|---------|----------------|----------------|---------|----------------|----------------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| | Z ₁ | Z ₂ | زمان | Z ₁ | Z ₂ | زمان | Z ₁ | Z ₂ | زمان | Z ₁ | Z ₂ | Z ₁ | Z ₂ | |
| سناریو ۱ | ۶۳.۱۷ | ۳.۰۶ | ۱۱۲۴.۴۳ | ۶۳.۴۴ | ۳.۰۶ | ۱۱۲۲.۱۳ | ۶۳.۲۸ | ۳.۰۶ | ۱۱۱۸.۶۷ | ۶۳.۳۰۲ | ۳.۰۶۴ | ۰.۱۳۵ | ۰.۰۰۳ | ۱۱۲۱.۷۴۸ |
| سناریو ۲ | ۵۲.۲۸ | ۳.۳۰ | ۱۱۶۷.۰۸ | ۵۲.۵۲ | ۳.۳۴ | ۱۱۷۳.۹۴ | ۵۲.۲۷ | ۳.۳۳ | ۱۱۱۴.۰۹ | ۵۲.۳۶۴ | ۳.۳۲۹ | ۰.۱۴۱ | ۰.۰۲۲ | ۱۱۵۱.۷۰۷ |
| سناریو ۳ | ۵۳.۷۵ | ۳.۲۶ | ۱۱۱۴.۵۶ | ۵۴.۱۰ | ۳.۲۷ | ۱۱۱۴.۷۵ | ۵۴.۰۸ | ۳.۲۹ | ۱۱۱۹.۹۱ | ۵۳.۹۸۲ | ۳.۲۸۲ | ۰.۱۹۴ | ۰.۰۱۵ | ۱۱۱۶.۴۱۰ |
| سناریو ۴ | ۶۸.۷۶ | ۳.۲۵ | ۱۱۱۴.۶۳ | ۶۸.۵۲ | ۳.۲۵ | ۱۱۱۶.۰۸ | ۶۸.۲۸ | ۳.۲۲ | ۱۱۱۶.۹۴ | ۶۸.۵۲۶ | ۳.۲۴۳ | ۰.۲۴۰ | ۰.۰۱۷ | ۱۱۱۵.۸۸۸ |
| سناریو ۵ | ۵۵.۸۱ | ۳.۵۸ | ۱۱۱۵.۹۴ | ۵۵.۲۰ | ۳.۵۲ | ۱۱۱۷.۹۴ | ۵۵.۶۶ | ۳.۵۷ | ۱۱۱۴.۴۹ | ۵۵.۵۶۳ | ۳.۵۶۰ | ۰.۳۱۷ | ۰.۰۲۷ | ۱۱۱۶.۱۳۰ |
| سناریو ۶ | ۵۷.۶۵ | ۳.۵۰ | ۱۱۲۰.۲۱ | ۵۷.۵۴ | ۳.۴۹ | ۱۲۳۶.۰۳ | ۵۷.۱۷ | ۳.۴۸ | ۱۲۲۱.۹۲ | ۵۷.۴۵۸ | ۳.۴۹۴ | ۰.۲۴۹ | ۰.۰۰۸ | ۱۲۲۹.۳۹۱ |
| سناریو ۷ | ۷۷.۶۳ | ۳.۵۰ | ۸۰۸.۸۰ | ۷۸.۱۴ | ۳.۵۲ | ۱۱۴۱.۰۶ | ۷۶.۳۰ | ۳.۴۶ | ۱۱۳۶.۲۶ | ۷۷.۳۶۰ | ۳.۴۹۹ | ۰.۹۵۲ | ۰.۰۲ | ۱۰۲۸.۷۱۲ |
| سناریو ۸ | ۶۰.۲۶ | ۳.۸۸ | ۱۰۹۹.۶۲ | ۶۰.۹۵ | ۳.۹۲ | ۱۰۹۷.۴۶ | ۶۰.۸۳ | ۳.۹۱ | ۱۱۷۸.۴۹ | ۶۰.۷۱۸ | ۳.۹۰۶ | ۰.۳۱۱ | ۰.۰۲۳ | ۱۱۲۵.۱۹۶ |
| سناریو ۹ | ۶۳.۵۳ | ۳.۸۱ | ۹۰۹.۲۲ | ۶۳.۶۵ | ۳.۸۰ | ۸۱۲.۳۶ | ۶۳.۳۹ | ۳.۸۱ | ۱۱۰۱.۷۲ | ۶۳.۵۲۸ | ۳.۸۱۰ | ۰.۱۳۰ | ۰.۰۰۰۷ | ۹۴۱.۱۰۲ |



نمودار (۱-ب): نمودار خروجی مدل برای الگوریتم NSGAI



نمودار (۱-الف): نمودار خروجی مدل برای الگوریتم MOIWO

شاخص فاصله (SM)

این شاخص، یکنواختی توزیع جواب‌های پارتو در فضای حل را نشان می‌دهد. نحوه محاسبه‌ی این شاخص مطابق رابطه (۱۶) است. d_i برابر فاصله‌ی اقلیدسی بین دو جواب پارتو کناری در فضای حل و \bar{d} برابر میانگین فواصل d_i ‌هاست. هر چه شاخص SM کمتر باشد الگوریتم دارای عملکرد بهتری است.

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} |\bar{d} - d_i|}{(n-1)\bar{d}} \quad (16)$$

مقایسه الگوریتم‌ها براساس شاخص SM

در نمودار ۲ (ج)، مقدار این شاخص برای هر یک از مثال‌های حل شده توسط دو الگوریتم ارائه شده است. با توجه به ماهیت این شاخص و براساس نمودار ۲ (ج)، می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم MOIWO در این شاخص عملکرد بهتری نسبت به NSGAI داشته است.

شاخص کیفیت (QM)

شاخص کیفیت بدین‌گونه است که کلیه‌ی جواب‌های پارتو به دست آمده توسط هر یک از الگوریتم‌ها را با هم در نظر گرفته و سپس عملیات ناچیرگی برای کلیه‌ی جواب‌ها انجام می‌شود. در نهایت، کیفیت هر الگوریتم برابر است با سهم جواب‌های پارتوی جدید مختص به آن الگوریتم. کیفیت بالاتر به منزله‌ی کارایی بهتر الگوریتم است.

مقایسه الگوریتم‌ها براساس شاخص QM

با توجه به ماهیت این شاخص و بر اساس نمودار ۲ (د)، می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم NSGAI در این شاخص عملکرد بهتری نسبت به MOIWO داشته است.

شاخص گوناگونی (DM)

این شاخص وسعت جواب‌های پارتو یک الگوریتم را نشان می‌دهد و توسط رابطه (۱۷) می‌توان آن را محاسبه کرد. هر چه شاخص DM بیشتر باشد الگوریتم دارای عملکرد بهتری است.

$$DM = \sqrt{\left(\frac{\max f_{1i} - \min f_{1i}}{f_{1,\text{total}}^{\max} - f_{1,\text{total}}^{\min}}\right)^2 + \left(\frac{\max f_{2i} - \min f_{2i}}{f_{2,\text{total}}^{\max} - f_{2,\text{total}}^{\min}}\right)^2} \quad (17)$$

مقایسه الگوریتم‌ها براساس شاخص DM

با توجه به ماهیت این شاخص و براساس نمودار ۲ (ه)، می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم NSGAI در این شاخص عملکرد بهتری نسبت به MOIWO داشته است.

برای ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های فرا ابتکاری چندهدفه دو دسته‌ی اصلی شاخص‌های همگرایی و شاخص‌های پراکندگی وجود دارد. شاخص‌های دسته‌ی اول عبارتند از: شاخص تعداد جواب پارتو، شاخص فاصله از جواب ایده‌آل و شاخص پوشش مجموعه‌ها. شاخص‌های مربوط به دسته‌ی دوم عبارتند از: شاخص فاصله‌گذاری، تنوع و شاخص بیشترین گسترش. تعداد پنج شاخص جهت مقایسه‌ی الگوریتم‌ها در این تحقیق استفاده می‌شود که در ادامه معرفی می‌گردند و کلیه‌ی نمودارهای ۲، مقایسه‌ی الگوریتم‌ها براساس شاخص‌ها را نشان می‌دهند.

با توجه به اینکه امکان کدکردن مدل ارائه شده در نرم‌افزار گمز مقدور نبود لذا جواب‌های به دست آمده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری در محدودیت‌های مدل جایگذاری گردید و درستی جواب‌ها کنترل شد.

شاخص میانگین فاصله از جواب ایده‌آل (MID)

این شاخص به منظور محاسبه‌ی میانگین فاصله‌ی جواب‌های پارتو از مبدا مختصات استفاده می‌شود. در رابطه (۱۵)، C_i میزان فاصله‌ی جواب پارتو از نقطه‌ی ایده‌آل می‌باشد. با توجه به این رابطه، هر چه این شاخص کمتر باشد، کارایی الگوریتم بیشتر خواهد بود.

$$MID = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{n} \quad (15)$$

مقایسه الگوریتم‌ها بر اساس شاخص MID

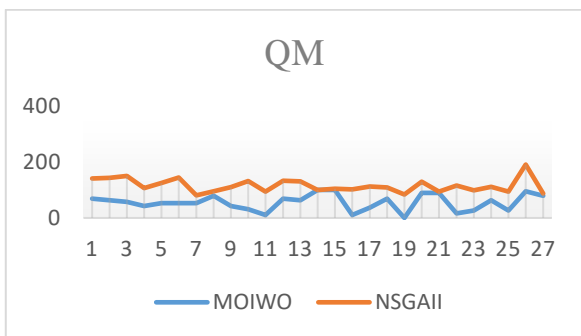
با توجه به ماهیت این شاخص و براساس نمودار ۲ (الف)، می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم NSGAI در این شاخص عملکرد بهتری نسبت به MOIWO داشته است.

شاخص زمان اجرای الگوریتم (CPU T)

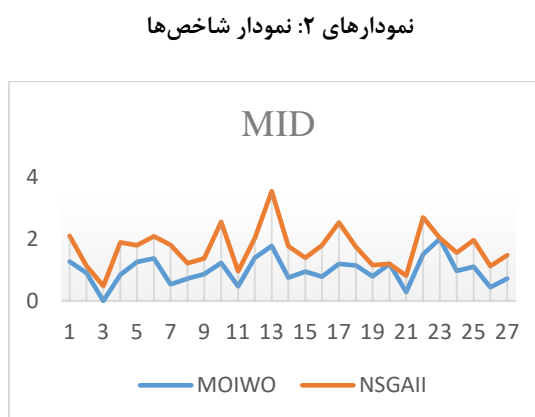
در مسائل بزرگ یکی از شاخص‌های مهم، زمان اجرای حل می‌باشد و به همین دلیل زمان اجرای الگوریتم به عنوان شاخص ارزیابی کیفیت در نظر گرفته می‌شود. هر چه این شاخص کمتر باشد، کارایی الگوریتم بیشتر خواهد بود.

مقایسه الگوریتم‌ها براساس شاخص CPU T

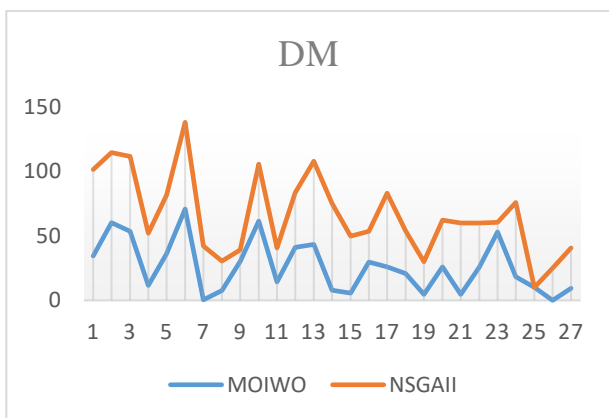
با توجه به ماهیت این شاخص و بر اساس نمودار ۲ (ب)، می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم NSGAI در این شاخص عملکرد بهتری نسبت به MOIWO داشته است.



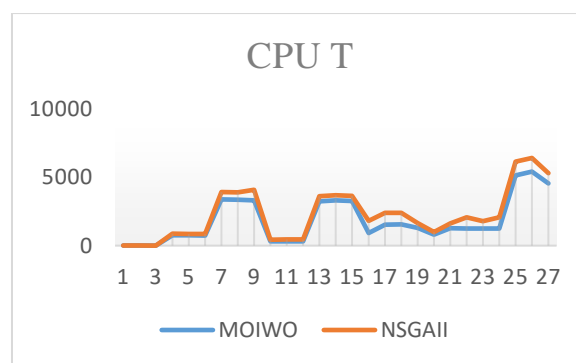
نمودار (د): مقایسه الگوریتم ها بر اساس شاخص QM



نمودار (الف): مقایسه الگوریتم ها بر اساس شاخص MID



نمودار (ه): مقایسه الگوریتم ها بر اساس شاخص DM



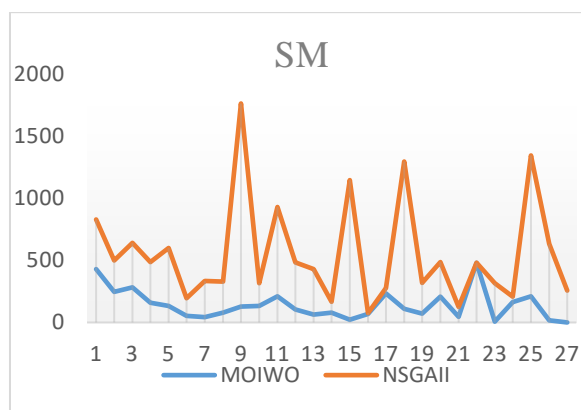
نمودار (ب): مقایسه الگوریتم ها بر اساس شاخص CPU T

۳-۴- طراحی آزمایش ها برای پارامترهای الگوریتم NSGAI

بر اساس ساختار روش تاگوچی ابتدا برای هر یک از پارامترهای الگوریتم NSGAI، ۳ مقدار پیشنهاد می شود. مقادیر پیشنهادی در جدول (۵) نشان داده شده اند و همچنین خروجی نرم افزار Matlab برای هر یک از شاخص ها در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول ۵: پارامترها و سطوح مقادیر برای الگوریتم NSGAI

| الگوریتم مورد بررسی | پارامتر | مقادیر هر سطح | | |
|---------------------|-----------------|---------------|---------|---------|
| | | Level 1 | Level 2 | Level 3 |
| NSGAI | Max Iteration | ۱۵۰ | ۳۰۰ | ۵۰۰ |
| | Population size | ۲۵ | ۵۰ | ۱۰۰ |
| | P Crossover | ۰.۷ | ۰.۵ | ۰.۹ |
| | P Mutation | ۰.۴ | ۰.۶ | ۰.۸ |
| | mu | ۰.۲ | ۰.۵ | ۰.۸ |



نمودار (ج): مقایسه الگوریتم ها بر اساس شاخص SM

۱ - ۴ - ۳ - بی‌مقیاس‌سازی از نوع RPD برای الگوریتم

NSGAI

برای بی‌مقیاس‌سازی مقادیر شاخص‌ها از (رابطه ۱۸) استفاده شده است و همچنین مقدار R از (رابطه ۱۹) بدست آمده است و تمامی مقادیر بی‌مقیاس‌سازی شده برای الگوریتم NSGAI در جدول (۷) آورده شده است [۲۱].

$$RPD = \frac{\text{Method Sol} - \text{Best Sol}}{\text{Best Sol}} * 100 \quad (18)$$

$$R = \frac{\text{MID} * 1 + \text{CPU T} * 2 + \text{SM} * 1 + \text{QM} * 5 + \text{DM} * 1}{10} \quad (19)$$

جدول ۶: خروجی نرم‌افزار Matlab برای شاخص‌ها در الگوریتم

NSGAI

| RUN | MID | CPUT | SM | QM | DM |
|----------|---------|---------|--------|----|---------|
| ۱ | ۶۳.۳۹۳ | ۱۲۰۷.۵ | ۰.۰۷۰۲ | ۷ | ۱.۰۵۶۸۱ |
| ۲ | ۶۳.۰۱۴ | ۱۱۰۴.۹ | ۰.۰۴۹ | ۵ | ۱.۴۶۸۶۲ |
| ۳ | ۶۳.۱۷۷۵ | ۱۱۰۴.۳۲ | ۰.۰۶۴۲ | ۲ | ۱.۳۴۴۴۲ |
| ۴ | ۶۳.۵۳۳۶ | ۲۲۵۲.۲۲ | ۰.۰۵۹۵ | ۹ | ۱.۹۱۲۳۶ |
| ۵ | ۶۳.۲۱۲۸ | ۲۲۸۹.۹۵ | ۰.۰۷۹۵ | ۷ | ۱.۷۵۸۰۴ |
| ۶ | ۶۳.۳۱۹۳ | ۲۲۴۴.۴۹ | ۰.۰۳۳۹ | ۲ | ۱.۰۵۳۸۹ |
| ۷ | ۶۳.۶۷۴۷ | ۷۱۲۲.۶۶ | ۰.۰۵۴۶ | ۱۸ | ۱.۸۸۱۹۰ |
| ۸ | ۶۳.۱۸۴۲ | ۶۹۷۸.۹۳ | ۰.۰۴۹۱ | ۲۱ | ۲.۴۸۶۷۷ |
| ۹ | ۶۳.۱۹۰۳ | ۹۵۹۳.۰۱ | ۰.۲۴۲۹ | ۸ | ۲.۹۴۰۷۶ |
| ۱۰ | ۶۳.۷۰۸۸ | ۲۵۲۷.۶۹ | ۰.۰۳۹۶ | ۰ | ۱.۸۰۱۹۴ |
| ۱۱ | ۶۳.۱۷۷۹ | ۲۶۱۰.۶۱ | ۰.۱۱۴۸ | ۴ | ۲.۳۷۳۱۹ |
| ۱۲ | ۶۳.۲۷۵۸ | ۲۵۴۲.۵۳ | ۰.۰۶۶۹ | ۹ | ۱.۸۵۹۲۸ |
| ۱۳ | ۶۳.۹۹۰۱ | ۵۲۴۰.۱۱ | ۰.۰۶۵۱ | ۸ | ۱.۱۴۱۴۳ |
| ۱۴ | ۶۳.۵۱۸۱ | ۵۳۳۵.۷۲ | ۰.۰۲۶۳ | ۲۵ | ۱.۰۵۴۳۱ |
| ۱۵ | ۶۳.۱۵۸۰ | ۵۲۶۰.۲۹ | ۰.۱۷۱۱ | ۲۴ | ۱.۸۰۴۳۷ |
| ۱۶ | ۶۳.۵۱۱۴ | ۱۰۹۰۱.۳ | ۰.۰۱۵۰ | ۲ | ۲.۴۵۳۷۰ |
| ۱۷ | ۶۳.۷۱۸۸ | ۱۰۶۰۱.۳ | ۰.۰۱۹۹ | ۶ | ۱.۳۷۷۵۴ |
| ۱۸ | ۶۳.۲۵۲۳ | ۱۰۶۴۰.۶ | ۰.۱۸۰۱ | ۱۵ | ۲.۱۶۳۶۹ |
| ۱۹ | ۶۳.۱۰۲۰ | ۴۸۸۷.۵۸ | ۰.۰۴۸۷ | ۴ | ۲.۴۰۲۹۹ |
| ۲۰ | ۶۲.۸۷۳۳ | ۳۱۶۷.۷۳ | ۰.۰۵۳۱ | ۱۵ | ۲.۰۵۵۱۲ |
| ۲۱ | ۶۳.۲۰۷۵ | ۴۸۷۰.۸۹ | ۰.۰۲۵۰ | ۲۴ | ۱.۴۳۸۷۷ |
| ۲۲ | ۶۳.۶۲۳۵ | ۱۰۱۰۱.۸ | ۰.۰۱۴۰ | ۰ | ۲.۱۲۳۷۴ |
| ۲۳ | ۶۲.۸۹۰۸ | ۷۱۹۶.۴۵ | ۰.۰۵۷۵ | ۷ | ۲.۹۸۳۱۴ |
| ۲۴ | ۶۳.۲۴۵۲ | ۱۰۱۲۷.۰ | ۰.۰۲۰۱ | ۱۳ | ۱.۳۶۳۹۹ |
| ۲۵ | ۶۳.۴۱۳۳ | ۱۲۲۵۴.۳ | ۰.۱۷۲۷ | ۸ | ۳.۲۲۳۸۵ |
| ۲۶ | ۶۳.۳۰۰۵ | ۱۲۱۶۳.۲ | ۰.۱۰۰۲ | ۱ | ۲.۴۱۸۴۱ |
| ۲۷ | ۶۳.۳۴۵۵ | ۹۵۹۱.۳۴ | ۰.۰۵۰۰ | ۲۳ | ۲.۲۱۳۰۵ |
| Best Sol | ۶۲.۸۷۳۳ | ۱۱۰۴.۳۲ | ۰.۰۱۴۰ | ۲۵ | ۳.۲۲۳۸۵ |

جدول ۷: مقادیر بی‌مقیاس‌سازی شده‌ی شاخص‌ها برای الگوریتم

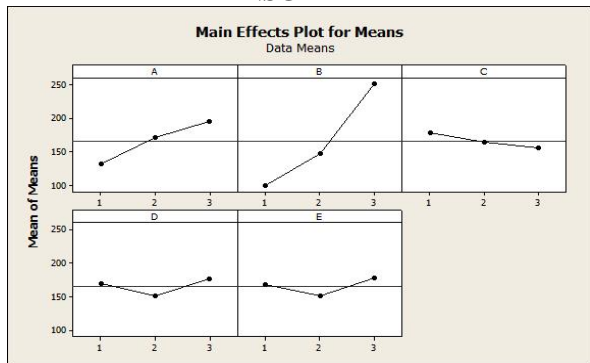
NSGAI

| RU N | MID | CPU T | SM | QM | DM | R |
|------|--------|--------|--------|-----|-------|--------|
| ۱ | ۰.۸۲۶۹ | ۹.۳۵۰ | ۴۰.۰۴۵ | ۷۲ | ۶۷.۲۱ | ۸۴.۷۲۰ |
| ۲ | ۰.۲۲۴۴ | ۰.۰۵۵ | ۲۵۱.۶۷ | ۸۰ | ۵۴.۴۴ | ۷۰.۶۴۵ |
| ۳ | ۰.۴۸۳۸ | ۰ | ۳۵۸.۱۱ | ۹۲ | ۵۸.۲۹ | ۸۷.۶۸۹ |
| ۴ | ۱.۰۵۰۱ | ۱۰۳.۹ | ۳۲۴.۷۹ | ۶۴ | ۴۰.۶۸ | ۸۹.۴۴۱ |
| ۵ | ۰.۵۳۹۹ | ۱۰۷.۳ | ۴۶۶.۹۴ | ۷۲ | ۴۵.۴۶ | ۱۰۸.۷۶ |
| ۶ | ۰.۷۰۹۳ | ۱۰۳.۲ | ۱۴۱.۷۴ | ۹۲ | ۶۷.۳۰ | ۸۷.۶۲۵ |
| ۷ | ۱.۲۷۴۵ | ۵۴۴.۹ | ۲۸۹.۶۰ | ۲۸ | ۴۱.۶۲ | ۱۵۶.۲۴ |
| ۸ | ۰.۴۹۴۴ | ۵۳۱.۹ | ۲۵۰.۱۴ | ۱۶ | ۲۲.۸۶ | ۱۴۱.۷۴ |
| ۹ | ۰.۵۰۴۱ | ۷۶۸.۶ | ۱۶۳۱.۷ | ۶۸ | ۸.۷۸۱ | ۳۵۱.۸۳ |
| ۱۰ | ۱.۳۲۸۷ | ۱۲۸.۸ | ۱۸۲.۶۷ | ۱۰۰ | ۴۴.۱۰ | ۹۸.۵۸۸ |
| ۱۱ | ۰.۴۸۴۴ | ۱۳۶.۳ | ۷۱۸.۷۶ | ۸۴ | ۲۶.۳۸ | ۱۴۳.۸۴ |
| ۱۲ | ۰.۶۴۰۱ | ۱۳۰.۲۳ | ۳۷۷.۳۸ | ۶۴ | ۴۲.۳۲ | ۱۰۰.۰۸ |
| ۱۳ | ۱.۷۷۶۲ | ۳۷۴.۵۰ | ۳۶۴.۵۲ | ۶۸ | ۶۴.۵۹ | ۱۵۱.۹۹ |
| ۱۴ | ۱.۰۲۵۵ | ۳۸۳.۱۶ | ۸۷.۷۱۶ | ۰ | ۶۷.۲۹ | ۹۲.۲۳۶ |
| ۱۵ | ۰.۴۵۲۷ | ۳۷۶.۳۳ | ۱۱۲۰.۰ | ۴ | ۴۴.۰۳ | ۱۹۳.۷۱ |
| ۱۶ | ۱.۰۱۴۸ | ۸۸۷.۱۴ | ۷۵۱۲.۱ | ۹۲ | ۲۳.۸۸ | ۲۲۶.۶۷ |
| ۱۷ | ۱.۳۴۴۶ | ۸۵۹.۹۸ | ۴۲.۳۵۸ | ۷۶ | ۵۷.۲۷ | ۲۲۰.۰۹ |
| ۱۸ | ۰.۶۰۲۷ | ۸۶۳.۵۴ | ۱۱۸۳.۹ | ۴۰ | ۳۲.۸۸ | ۳۱۴.۴۴ |
| ۱۹ | ۰.۳۶۳۷ | ۳۴۲.۵۸ | ۲۴۷.۸۰ | ۸۴ | ۲۵.۴۶ | ۱۳۷.۸۷ |
| ۲۰ | ۰ | ۱۸۶.۸۴ | ۲۷۸.۶۱ | ۴۰ | ۳۶.۲۵ | ۸۸.۸۵۶ |
| ۲۱ | ۰.۵۳۱۵ | ۳۴۱.۰۷ | ۷۸.۹۲۵ | ۴ | ۵۵.۳۷ | ۸۳.۶۹۷ |
| ۲۲ | ۱.۱۹۳۲ | ۸۱۴.۷۴ | ۰ | ۱۰۰ | ۳۴.۱۲ | ۲۱۶.۴۸ |
| ۲۳ | ۰.۰۲۷۸ | ۵۵۱.۶۵ | ۳۱۰.۱۱ | ۷۲ | ۷.۴۶۶ | ۱۷۸.۰۹ |
| ۲۴ | ۰.۵۹۱۵ | ۸۱۷.۰۳ | ۴۳.۸۰۴ | ۴۸ | ۵۷.۶۹ | ۱۹۷.۶۱ |
| ۲۵ | ۰.۸۵۸۷ | ۱۰۰.۹۶ | ۱۱۳۱.۳ | ۶۸ | ۰ | ۳۴۹.۱۵ |
| ۲۶ | ۰.۶۷۹۴ | ۱۰۰.۱۴ | ۶۱۴.۷۸ | ۹۶ | ۲۴.۹۸ | ۳۱۲.۳۲ |
| ۲۷ | ۰.۷۵۰۹ | ۷۶۸.۵۲ | ۲۵۶.۶۲ | ۸ | ۳۱.۳۵ | ۱۸۶.۵۷ |

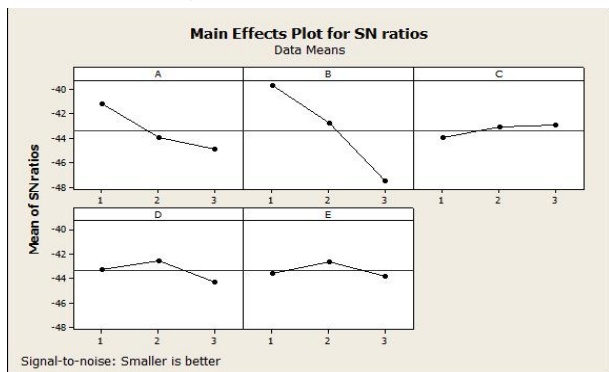
سپس به ازای طرح L27 تاگوجی حالات زیر برای الگوریتم NSGAI اجرا شده و خروجی‌های آن در جدول (۸) ارائه شده است:

پس از وارد کردن این اطلاعات در نرم افزار Minitab روش تاگوچی اجرا می شود، نمودار (۳-الف)، میانگین و نمودار (۳-ب)، SN در زیر ارائه شده اند:

نمودارهای ۳: نمودارهای خروجی نرم افزار Minitab برای الگوریتم NSGAI



نمودار (الف): نمودار میانگین



نمودار (ب): نمودار SN

بر اساس نمودارهای (۳) برای هر پارامتر مقداری مناسب است که بیشترین مقدار SN را داشته باشد. لذا در خصوص الگوریتم NSGAI مقادیر جدول (۹)، مقادیر بهینه می باشند و سایر مثال ها با این مقادیر اجرا خواهند شد.

جدول ۹: مقدار بهینه ی پارامترها برای الگوریتم NSGAI

| الگوریتم مورد بررسی | پارامتر | سطح | مقدار بهینه |
|---------------------|-----------------|-----|-------------|
| NSGAI | Max Iteration | ۱ | ۱۵۰ |
| | Population size | ۱ | ۲۵ |
| | P Crossover | ۳ | ۰.۹ |
| | P Mutation | ۲ | ۰.۶ |
| | mu | ۲ | ۰.۵ |

۵-۳- طراحی آزمایش ها برای پارامترهای الگوریتم MOIWO

مطابق روندی که در الگوریتم NSGAI اجرا شد در این الگوریتم نیز اجرا خواهد شد. ابتدا مقادیر پیشنهادی برای هر یک از الگوریتم ها ارائه می شود، که این مقادیر پیشنهادی در جدول (۱۰) نشان داده شده

جدول ۸: مقادیر جواب برای تکنیک تاگوچی در الگوریتم NSGAI

| Run order | Algorithm parameters | | | | | Response For NSGA II |
|-----------|----------------------|-----------------|-------------|------------|----|----------------------|
| | Max Iteration | Population size | P Crossover | P Mutation | mu | |
| ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۸۴.۷۲ |
| ۲ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۲ | ۷۰.۶۴ |
| ۳ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۳ | ۸۷.۶۸ |
| ۴ | ۱ | ۲ | ۲ | ۲ | ۱ | ۸۹.۴۴ |
| ۵ | ۱ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۱۰۸.۷۶ |
| ۶ | ۱ | ۲ | ۲ | ۲ | ۳ | ۸۷.۶۲ |
| ۷ | ۱ | ۳ | ۳ | ۳ | ۱ | ۱۵۶.۳۴ |
| ۸ | ۱ | ۳ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱۴۱.۷۴ |
| ۹ | ۱ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳۵۱.۸۳ |
| ۱۰ | ۲ | ۱ | ۲ | ۳ | ۱ | ۹۸.۵۸ |
| ۱۱ | ۲ | ۱ | ۲ | ۳ | ۲ | ۱۴۳.۸۴ |
| ۱۲ | ۲ | ۱ | ۲ | ۳ | ۳ | ۱۰۰.۰۸ |
| ۱۳ | ۲ | ۲ | ۳ | ۱ | ۱ | ۱۵۱.۹۹ |
| ۱۴ | ۲ | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ | ۹۲.۲۳ |
| ۱۵ | ۲ | ۲ | ۳ | ۱ | ۳ | ۱۹۳.۷۱ |
| ۱۶ | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ | ۱ | ۲۲۶.۶۷ |
| ۱۷ | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ | ۲ | ۲۲۰.۰۹ |
| ۱۸ | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ | ۳ | ۳۱۴.۴۴ |
| ۱۹ | ۳ | ۱ | ۳ | ۲ | ۱ | ۱۳۷.۸۷ |
| ۲۰ | ۳ | ۱ | ۳ | ۲ | ۲ | ۸۸.۸۵ |
| ۲۱ | ۳ | ۱ | ۳ | ۲ | ۳ | ۸۳.۶۹ |
| ۲۲ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۱ | ۲۱۶.۴۸ |
| ۲۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۲ | ۱۷۸.۰۹ |
| ۲۴ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۳ | ۱۹۷.۶۱ |
| ۲۵ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۱ | ۳۴۹.۱۵ |
| ۲۶ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۲ | ۳۱۲.۳۲ |
| ۲۷ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۱۸۶.۵۷ |

است و همچنين خروجى نرم افزار Matlab راى هر يك از شاخص ها در جدول (۱۱) نشان داده مى شود.

جدول ۱۰: پارامترها و سطوح مقادير براى الگوريتم MOIWO

| الگوريتم مورد بررسى | پارامتر | مقادير هر سطح | | |
|------------------------|---------------|---------------|---------|---------|
| | | Level 1 | Level 2 | Level 3 |
| MOIWO | Max Iteration | ۱۵۰ | ۳۰۰ | ۵۰۰ |
| | N pop0 | ۵ | ۲۰ | ۴۰ |
| | N pop | ۲۵ | ۵۰ | ۱۰۰ |
| | S min | ۰ | ۵ | ۱۰ |
| | S max | ۵ | ۲۵ | ۱۲۵ |
| | Exponent | ۲ | ۳ | ۴ |
| | sigma_initial | ۰.۵ | ۰.۲ | ۰.۱ |
| | sigma_final | ۰.۰۱ | ۰.۰۰۲ | ۰.۰۰۰۰۱ |

۱ - ۵ - ۳ - بي مقياى سازى از نوع RPD براى الگوريتم

MOIWO

براى بي مقياى سازى مقادير شاخص ها از (رابطه ۲۰) استفاده شده است و همچنين مقدار R از (رابطه ۲۱) بدست آمده است و تمامى مقادير بي مقياى سازى شده براى الگوريتم MOIWO در جدول (۱۲) آورده شده است [۲۱].

$$RPD = \frac{\text{Method Sol} - \text{Best Sol}}{\text{Best Sol}} * 100 \quad (20)$$

$$R = \frac{MID * 1 + CPU * 2 + SM * 1 + QM * 5 + DM * 1}{10} \quad (21)$$

جدول ۱۱: خروجى نرم افزار Matlab براى شاخص ها در الگوريتم

MOIWO

| RU N | MID | CPUT | SM | Q M | DM |
|----------|----------|---------|----------|-----|----------|
| ۱ | ۶۳.۲۰۶۱۹ | ۱۰۶۳.۲ | ۰.۱۴۵۵۲۱ | ۶ | ۲.۳۶۱۳۸۴ |
| ۲ | ۶۲.۹۷۹۷۱ | ۹۷۳.۳ | ۰.۰۹۵۱۶۴ | ۷ | ۱.۴۲۶۴۸۱ |
| ۳ | ۶۲.۴۱۰۵ | ۹۷۲.۵ | ۰.۱۰۵۲۹۳ | ۸ | ۱.۶۷۱۸۳۰ |
| ۴ | ۶۲.۹۴۰۷۸ | ۸۴۱۸.۱ | ۰.۰۷۱۴۴۵ | ۱۱ | ۳.۱۸۴۹۷۴ |
| ۵ | ۶۳.۲۰۱۷۰ | ۸۳۰.۱۹ | ۰.۰۶۳۹۴۴ | ۹ | ۲.۲۹۵۸۳۷ |
| ۶ | ۶۳.۲۷۲۷۷ | ۸۲۴۹.۷ | ۸۲۴۹.۷۶۰ | ۹ | ۱.۰۴۷۳۰۶ |
| ۷ | ۶۲.۷۴۷۳۴ | ۳۳۹۴۲.۷ | ۰.۰۳۹۴۴۸ | ۹ | ۳.۵۸۴۰۰۱ |
| ۸ | ۶۲.۸۶۳۶۰ | ۳۳۸۱۷.۲ | ۰.۰۴۸۸۸۳ | ۴ | ۳.۳۲۹۲۳۳ |
| ۹ | ۶۲.۹۵۵۰۸ | ۳۳۳۷۷.۹ | ۰.۰۶۲۹۸۶ | ۱۱ | ۲.۵۰۸۰۵۹ |
| ۱۰ | ۶۳.۱۸۳۱۹ | ۳۹۴۵.۱۶ | ۰.۰۶۳۸۸۵ | ۱۳ | ۱.۳۸۰۵۷۹ |
| ۱۱ | ۶۲.۷۰۷۵۰ | ۴۰۰۰.۸ | ۰.۰۸۵۲۷۵ | ۱۷ | ۳.۰۸۴۰۷۲ |
| ۱۲ | ۶۳.۲۸۱۰۹ | ۴۰۶۷.۷۵ | ۰.۰۵۶۶۱۲ | ۶ | ۲.۱۱۵۰۴۴ |
| ۱۳ | ۶۳.۵۲۱۵۵ | ۳۲۶۵۹.۰ | ۰.۰۴۵۰۸۶ | ۷ | ۲.۰۳۶۹۱۳ |
| ۱۴ | ۶۲.۸۸۰۱۷ | ۳۳۱۹۲.۷ | ۰.۰۴۹۳۶۴ | ۰ | ۳.۳۱۳۷۲۵ |
| ۱۵ | ۶۳.۰۰۲۵۱ | ۳۲۸۳۸.۴ | ۰.۰۳۳۹۰۳ | ۰ | ۳.۳۹۳۲۴۸ |
| ۱۶ | ۶۲.۹۰۰۱۷ | ۱۰۰۶۸.۵ | ۰.۰۴۶۲۶۲ | ۱۷ | ۲.۵۲۷۵۷۵ |
| ۱۷ | ۶۳.۱۵۸۶۰ | ۱۵۹۵۰.۰ | ۰.۰۹۱۹۹۶ | ۱۲ | ۲.۶۶۳۴۹۸ |
| ۱۸ | ۶۳.۱۲۸۶۴ | ۱۶۰۳۳.۵ | ۰.۰۵۷۹۰۷ | ۶ | ۲.۸۵۰۰۱۸ |
| ۱۹ | ۶۲.۹۰۹۳۱ | ۱۳۶۸۶.۹ | ۰.۰۴۷۲۰۵ | ۱۹ | ۳.۴۴۴۲۲۰ |
| ۲۰ | ۶۳.۱۵۸۹۹ | ۸۷۴۳.۹۹ | ۰.۰۸۴۷۳۶ | ۲ | ۲.۶۶۴۳۳۴ |
| ۲۱ | ۶۲.۵۸۷۸۱ | ۱۳۴۶۲.۹ | ۰.۰۴۰۲۰۶ | ۲ | ۳.۴۳۳۸۹۰ |
| ۲۲ | ۶۳.۳۵۶۷۲ | ۱۳۱۹۶.۷ | ۰.۱۵۹۶۰۷ | ۱۶ | ۲.۶۶۹۵۷۹ |
| ۲۳ | ۶۳.۶۶۶۰۵ | ۱۳۰۹۹.۲ | ۰.۰۲۹۱۹۶ | ۱۴ | ۱.۶۹۱۰۳۷ |
| ۲۴ | ۶۳.۰۱۸۷۸ | ۱۳۱۹۴.۱ | ۰.۰۷۲۵۰۰ | ۷ | ۲.۹۴۳۷۳۱ |
| ۲۵ | ۶۳.۱۰۲۷۵ | ۵۱۰۱۲.۳ | ۰.۰۸۵۵۷۰ | ۱۴ | ۳.۲۳۹۸۸۱ |
| ۲۶ | ۶۲.۶۹۰۶۷ | ۵۳۷۹۷.۲ | ۰.۰۳۳۴۰۷ | ۱ | ۳.۶۰۰۷۵۸ |
| ۲۷ | ۶۲.۸۶۴۱۳ | ۴۵۲۷۹.۶ | ۰.۰۲۷۵۵۲ | ۴ | ۳.۲۶۲۳۵۷ |
| Best Sol | ۶۲.۴۱۰۵۵ | ۹۷۲.۵۴۹ | ۰.۰۲۷۵۵۲ | ۱۹ | ۳.۶۰۰۷۵۸ |

جدول ۱۲: مقادير بي مقياى سازى شده ي شاخص ها براى الگوريتم

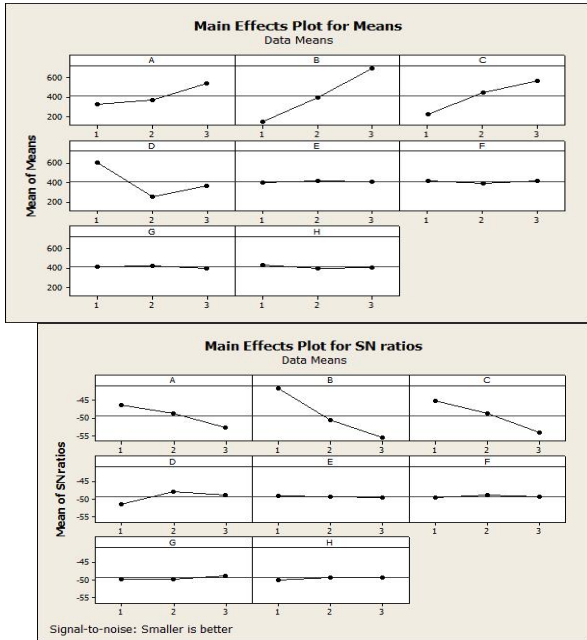
MOIWO

| RU N | MID | CPU T | SM | QM | DM | R |
|------|--------|-------|--------|------|--------|--------|
| ۱ | ۱.۲۷۴۸ | ۹.۳۳۳ | ۴۲۸.۱ | ۶۸.۴ | ۳۴.۴۱۹ | ۸۲.۴۶۰ |
| ۲ | ۰.۹۱۱۹ | ۰.۰۸۱ | ۲۴۵.۳ | ۶۳.۱ | ۶۰.۳۸۳ | ۶۲.۲۶۴ |
| ۳ | ۰ | ۰ | ۲۸۲.۱ | ۵۷.۸ | ۵۳.۵۷۰ | ۶۲.۵۱۹ |
| ۴ | ۰.۸۴۹۵ | ۷۶۵.۵ | ۱۵۹.۳ | ۴۲.۱ | ۱۱.۵۴۷ | ۱۹۱.۳۳ |
| ۵ | ۱.۲۶۷۶ | ۷۵۳.۶ | ۱۳۲.۰ | ۵۲.۶ | ۳۶.۲۴۰ | ۱۹۴.۰۸ |
| ۶ | ۱.۳۸۱۵ | ۷۴۸.۲ | ۸۲.۲ | ۵۲.۶ | ۷۰.۹۱۴ | ۲۹۹۴۳ |
| ۷ | ۰.۵۳۹۶ | ۳۳۹.۱ | ۴۳.۱ | ۵۲.۶ | ۰.۴۶۵۳ | ۷۰.۸۷۴ |
| ۸ | ۰.۲۲۵۹ | ۳۳۷.۱ | ۷۷.۴ | ۷۸.۹ | ۷.۵۴۰۷ | ۷۲۳.۴۷ |
| ۹ | ۰.۸۷۲۴ | ۳۳.۰۱ | ۱۲۸.۶ | ۴۲.۱ | ۳۰.۳۴۶ | ۷۰.۳۴۳ |
| ۱۰ | ۱.۲۳۷۹ | ۳۰۵.۶ | ۱۳۱.۸ | ۳۱.۵ | ۶۱.۶۵۸ | ۹۶.۳۹۶ |
| ۱۱ | ۰.۲۷۵۸ | ۳۱۱.۳ | ۲۰.۹۵ | ۱۰.۵ | ۱۴.۳۴۹ | ۸۹.۹۷۲ |
| ۱۲ | ۱.۳۹۴۸ | ۳۱۸.۲ | ۱۰.۵۴ | ۶۸.۴ | ۴۱.۲۶۱ | ۱۱۲.۶۷ |
| ۱۳ | ۱.۷۸۰۱ | ۳۲.۰۸ | ۶۳.۶۴۰ | ۶۳.۱ | ۴۳.۴۳۰ | ۶۹۴.۰۸ |
| ۱۴ | ۰.۷۵۲۴ | ۳۳۱.۹ | ۷۹.۱۶ | ۱۰۰ | ۷.۹۷۱۴ | ۷۲۱.۳۸ |
| ۱۵ | ۰.۹۴۸۴ | ۳۳۷.۵ | ۲۳.۰۴ | ۱۰۰ | ۵.۷۶۲۹ | ۷۰.۸۲۸ |
| ۱۶ | ۰.۷۸۴۵ | ۹۳۵.۲ | ۶۷.۹۰۶ | ۱۰.۵ | ۲۹.۸۰۴ | ۲۰۲.۱۶ |
| ۱۷ | ۱.۱۹۸۵ | ۱۵۴.۱ | ۲۳۳.۸ | ۳۶.۸ | ۲۶.۰۲۹ | ۳۵۲.۵۳ |
| ۱۸ | ۱.۱۵۰۵ | ۱۵۴.۱ | ۱۱۰.۱ | ۶۸.۴ | ۲۰.۸۴۹ | ۳۵۷.۱۵ |
| ۱۹ | ۰.۷۹۹۱ | ۱۳۰.۳ | ۷۱.۳۲ | ۰ | ۴.۶۲۵۰ | ۲۶۹.۱۴ |
| ۲۰ | ۱.۱۹۹۲ | ۷۹۹.۱ | ۲۰.۷۵ | ۸۹.۴ | ۲۶.۰۰۶ | ۲۲۸.۰۲ |
| ۲۱ | ۰.۲۸۴۰ | ۱۲۸.۲ | ۴۵.۹۲ | ۸۹.۴ | ۴.۶۳۴۲ | ۳۰.۶۶۸ |
| ۲۲ | ۱.۵۱۶۰ | ۱۲۵.۹ | ۴۷۹.۲ | ۱۵.۷ | ۲۵.۸۶۰ | ۳۰.۹۹۴ |
| ۲۳ | ۲.۰۱۱۶ | ۱۲۴.۸ | ۵.۹۶۶۶ | ۲۶.۳ | ۵۳.۰۳۶ | ۲۶۸.۶۳ |
| ۲۴ | ۰.۹۷۴۵ | ۱۲۵.۶ | ۱۶۳.۱ | ۶۳.۱ | ۱۸.۲۴۶ | ۳۰.۱۱۴ |
| ۲۵ | ۱.۱۰۹۱ | ۵۱۴.۲ | ۲۱۰.۵ | ۲۶.۳ | ۱۰.۰۲۲ | ۱۰۶۴.۳ |
| ۲۶ | ۰.۴۴۸۸ | ۵۴۳.۵ | ۱۷.۶ | ۹۴.۷ | ۰ | ۱۱۳۵.۴ |
| ۲۷ | ۰.۷۲۶۷ | ۴۵۵.۷ | ۰ | ۷۸.۹ | ۹.۳۹۸ | ۹۵۱.۶ |

سپس به ازای طرح L27 تاگوچی حالات زیر برای الگوریتم MOIWO اجرا شده و خروجی های آن در جدول (۱۳) ارائه شده است:

حال با دادن این خروجی ها به نرم افزار Minitab نمودار (۴-الف) ، میانگین و نمودار (۴-ب) ، SN به صورت زیر ارائه می شوند:

نمودارهای ۴: نمودارهای خروجی نرم افزار Minitab برای الگوریتم MOIWO



نمودار (ب): نمودار SN

حال بر اساس خروجی ارائه شده در نمودار فوق بهترین مقدار هر پارامتر مشخص شده و سایر مثال ها با این مقادیر پارامترهای الگوریتم، اجرا می شود. در جدول (۱۴) مقدار بهینه پارامترها ارائه شده است:

جدول ۱۴: مقدار بهینه ی پارامترهای MOIWO

| الگوریتم مورد بررسی | پارامتر | سطح | مقدار بهینه |
|---------------------|---------------|-----|-------------|
| MOIWO | Max Iteration | ۱ | ۱۵۰ |
| | N pop0 | ۱ | ۵ |
| | N pop | ۱ | ۲۵ |
| | S min | ۲ | ۵ |
| | S max | ۱ | ۵ |
| | Exponent | ۲ | ۳ |
| | sigma_initial | ۳ | ۰.۱ |
| | sigma_final | ۲ | ۰.۰۰۲ |

۶-۳- تاثیر تنظیم پارامتر

در این قسمت، خروجی های مدل با پارامترهای بدون تاگوچی و با تاگوچی برای الگوریتم های NSGAI و MOIWO با هم مقایسه

جدول ۱۳: مقادیر جواب برای تکنیک تاگوچی در الگوریتم

MOIWO

| Run order | Algorithm parameters | | | | | | | | Response For MOIWO |
|-----------|----------------------|--------|-------|-------|-------|----------|---------------|-------------|--------------------|
| | Max iteration | N pop0 | N pop | S min | S max | Exponent | sigma_initial | sigma_final | |
| ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۸۲.۴۶ |
| ۲ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۶۲.۲۶ |
| ۳ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۶۲.۵۱ |
| ۴ | ۱ | ۲ | ۲ | ۲ | ۱ | ۱ | ۱ | ۲ | ۱۹۱.۳ |
| ۵ | ۱ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۳ | ۱۹۴.۱ |
| ۶ | ۱ | ۲ | ۲ | ۲ | ۳ | ۳ | ۳ | ۱ | ۱۸۸.۳ |
| ۷ | ۱ | ۳ | ۳ | ۳ | ۱ | ۱ | ۱ | ۳ | ۷۰.۸۷ |
| ۸ | ۱ | ۳ | ۳ | ۳ | ۲ | ۲ | ۲ | ۱ | ۷۲۳.۴ |
| ۹ | ۱ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۲ | ۷۰.۳۴ |
| ۱۰ | ۲ | ۱ | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ | ۳ | ۱ | ۹۶.۳۹ |
| ۱۱ | ۲ | ۱ | ۲ | ۳ | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ | ۸۹.۹۷ |
| ۱۲ | ۲ | ۱ | ۲ | ۳ | ۳ | ۱ | ۲ | ۳ | ۱۱۲.۶ |
| ۱۳ | ۲ | ۲ | ۳ | ۱ | ۱ | ۲ | ۳ | ۲ | ۶۹۴.۰ |
| ۱۴ | ۲ | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ | ۳ | ۱ | ۳ | ۷۲۱.۳ |
| ۱۵ | ۲ | ۲ | ۳ | ۱ | ۳ | ۱ | ۲ | ۱ | ۷۰.۸۲ |
| ۱۶ | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ | ۱ | ۲ | ۳ | ۳ | ۲۰.۲۱ |
| ۱۷ | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ | ۲ | ۳ | ۱ | ۱ | ۳۵۲.۵ |
| ۱۸ | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ | ۲ | ۳۵۷.۱ |
| ۱۹ | ۳ | ۱ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۲ | ۱ | ۲۶۹.۱ |
| ۲۰ | ۳ | ۱ | ۳ | ۲ | ۲ | ۱ | ۳ | ۲ | ۲۲۸.۰ |
| ۲۱ | ۳ | ۱ | ۳ | ۲ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۳۰۶.۶ |
| ۲۲ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۱ | ۳ | ۲ | ۲ | ۳۰۹.۹ |
| ۲۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۳ | ۲۶۸.۶ |
| ۲۴ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۱ | ۳۰۱.۱ |
| ۲۵ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۱ | ۳ | ۲ | ۳ | ۱۰۶.۴ |
| ۲۶ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۲ | ۱ | ۳ | ۱ | ۱۱۳.۱ |
| ۲۷ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۲ | ۱ | ۲ | ۹۵۱.۶ |

شده‌اند. جداول (۱۵) و (۱۶) خروجی‌های مدل برای الگوریتم NSGAI و جداول (۱۷) و (۱۸) خروجی‌های مدل برای الگوریتم MOIWO را نشان می‌دهند.

نمودار (الف): نمودار میانگین

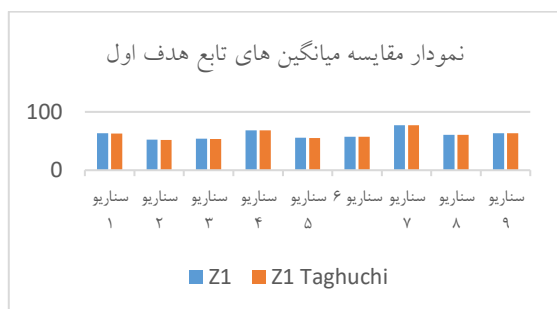
۱-۶-۳- خروجی‌های مدل با پارامترهای بدون تاگوچی و با تاگوچی برای الگوریتم NSGAI

جدول ۱۵: خروجی مدل برای الگوریتم NSGAI به تفکیک هر سناریو

| مثال | تکرار اول | | | تکرار دوم | | | تکرار سوم | | | میانگین | | انحراف معیار | | میانگین زمان |
|----------|----------------|----------------|---------|----------------|----------------|---------|----------------|----------------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| | Z ₁ | Z ₂ | زمان | Z ₁ | Z ₂ | زمان | Z ₁ | Z ₂ | زمان | Z ₁ | Z ₂ | Z ₁ | Z ₂ | |
| سناریو ۱ | ۶۳.۱۷ | ۳.۰۶۰ | ۱۱۲۴.۴۳ | ۶۳.۴۴ | ۳.۰۶ | ۱۱۲۲.۱۳ | ۶۳.۲۸ | ۳.۰۶ | ۱۱۱۸.۶۷ | ۶۳.۳۰۲ | ۳.۰۶۴ | ۰.۱۳۵ | ۰.۰۰۳ | ۱۱۲۱.۷۴۸ |
| سناریو ۲ | ۵۲.۲۸ | ۳.۳۰ | ۱۱۶۷.۰۸ | ۵۲.۵۲ | ۳.۳۴ | ۱۱۷۳.۹۴ | ۵۲.۲۷ | ۳.۳۳ | ۱۱۱۴.۰۹ | ۵۲.۳۶۴ | ۳.۳۲۹ | ۰.۱۴۱ | ۰.۰۲۲ | ۱۱۵۱.۷۰۷ |
| سناریو ۳ | ۵۳.۷۵ | ۳.۲۶ | ۱۱۱۴.۵۶ | ۵۴.۱۰ | ۳.۲۷ | ۱۱۱۴.۷۵ | ۵۴.۰۸ | ۳.۲۹ | ۱۱۱۹.۹۱ | ۵۳.۹۸۲ | ۳.۲۸۲ | ۰.۱۹۴ | ۰.۰۱۵ | ۱۱۱۶.۴۱۰ |
| سناریو ۴ | ۶۸.۷۶ | ۳.۲۵ | ۱۱۱۴.۶۳ | ۶۸.۵۲ | ۳.۲۵ | ۱۱۱۶.۰۸ | ۶۸.۲۸ | ۳.۲۲ | ۱۱۱۶.۹۴ | ۶۸.۵۲۶ | ۳.۲۴۳ | ۰.۲۴۰ | ۰.۰۱۷ | ۱۱۱۵.۸۸۸ |
| سناریو ۵ | ۵۵.۸۱ | ۳.۵۸ | ۱۱۱۵.۹۴ | ۵۵.۲۰ | ۳.۵۲ | ۱۱۱۷.۹۴ | ۵۵.۶۶ | ۳.۵۷ | ۱۱۱۴.۴۹ | ۵۵.۵۶۳ | ۳.۵۶۰ | ۰.۳۱۷ | ۰.۰۲۷ | ۱۱۱۶.۱۳۰ |
| سناریو ۶ | ۵۷.۶۵ | ۳.۵۰ | ۱۱۲۰.۲۱ | ۵۷.۵۴ | ۳.۴۹ | ۱۲۳۶.۰۳ | ۵۷.۱۷ | ۳.۴۸ | ۱۲۲۱.۹۲ | ۵۷.۴۵۸ | ۳.۴۹۴ | ۰.۲۴۹ | ۰.۰۰۸ | ۱۲۲۹.۳۹۱ |
| سناریو ۷ | ۷۷.۶۳ | ۳.۵۰ | ۸۰۸۸.۰ | ۷۸.۱۴ | ۳.۵۲ | ۱۱۴۱.۰۶ | ۷۶.۳۰ | ۳.۴۶ | ۱۱۳۶.۲۶ | ۷۷.۳۶۰ | ۳.۴۹۹ | ۰.۹۵۲ | ۰.۰۲۹ | ۱۰۲۸.۷۱۲ |
| سناریو ۸ | ۶۰.۳۶ | ۳.۸۸ | ۱۰۹۹.۶۲ | ۶۰.۹۵ | ۳.۹۲ | ۱۰۹۷.۴۶ | ۶۰.۸۳ | ۳.۹۱ | ۱۱۷۸.۴۹ | ۶۰.۷۱۸ | ۳.۹۰۶ | ۰.۳۱۱ | ۰.۰۲۳ | ۱۱۲۵.۱۹۶ |
| سناریو ۹ | ۶۳.۵۳ | ۳.۸۱ | ۹۰۹.۲۲ | ۶۳.۶۵ | ۳.۸۰ | ۸۱۲.۳۶ | ۶۳.۳۹ | ۳.۸۱ | ۱۱۰۱.۷۲ | ۶۳.۵۲۸ | ۳.۸۱۰ | ۰.۱۳۰ | ۰.۰۰۰۷ | ۹۴۱.۱۰۲ |

جدول ۱۶: خروجی مدل با تاگوچی برای الگوریتم NSGAI به تفکیک هر سناریو

| مثال تاگوچی | تکرار اول | | | تکرار دوم | | | تکرار سوم | | | میانگین | | انحراف معیار | | میانگین زمان |
|-------------|----------------|----------------|---------|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| | Z ₁ | Z ₂ | زمان | Z ₁ | Z ₂ | زمان | Z ₁ | Z ₂ | زمان | Z ₁ | Z ₂ | Z ₁ | Z ₂ | |
| سناریو ۱ | ۶۳.۱۰ | ۳.۰۶ | ۱۴۹۹.۱۸ | ۶۲.۸۷ | ۳.۰۵ | ۱۵۵۶.۸۹ | ۶۲.۸۰ | ۳.۰۴ | ۱۴۵۴.۷۸ | ۶۲.۹۲۵ | ۳.۰۵۵ | ۰.۱۵۵ | ۰.۰۰۶ | ۱۵۰۳.۶۲۱ |
| سناریو ۲ | ۵۱.۷۹ | ۳.۲۹ | ۹۶۳.۱۶ | ۵۲.۰۶ | ۳.۲۱ | ۹۶۰.۸۸ | ۵۲.۲۴ | ۳.۲۴ | ۹۵۱.۶۹ | ۵۲.۰۳۶ | ۳.۲۱۹ | ۰.۲۲۳ | ۰.۰۲۵ | ۹۵۸.۵۸۲ |
| سناریو ۳ | ۵۳.۶۹ | ۳.۲۸ | ۹۵۷.۷۰ | ۵۳.۹۰ | ۳.۲۷ | ۱۴۵۴.۴۱ | ۵۳.۷۷ | ۳.۲۸ | ۱۴۵۶.۸۰ | ۵۳.۷۹۳ | ۳.۲۸۲ | ۰.۱۰۴ | ۰.۰۰۵ | ۱۲۸۹.۶۴۰ |
| سناریو ۴ | ۶۷.۷۹ | ۳.۲۱ | ۱۴۷۰.۸۰ | ۶۸.۲۶ | ۳.۲۲ | ۱۴۸۲.۰۰۳ | ۶۸.۵۳ | ۳.۲۴ | ۱۴۴۳.۵۶ | ۶۸.۱۹۵ | ۳.۲۲۷ | ۰.۳۷۴ | ۰.۰۱۴ | ۱۴۶۵.۴۵۶ |
| سناریو ۵ | ۵۵.۵۷ | ۳.۵۵ | ۱۴۴۷.۸۹ | ۵۵.۰۴ | ۳.۵۱ | ۱۴۴۳.۴۲ | ۵۵.۲۷ | ۳.۵۳ | ۱۴۴۲.۲۸ | ۵۵.۲۹۶ | ۳.۵۳۴ | ۰.۲۶۳ | ۰.۰۱۷ | ۱۴۴۴.۵۳۴ |
| سناریو ۶ | ۵۷.۲۸ | ۳.۴۹ | ۹۷۶.۰۵ | ۵۷.۵۲ | ۳.۴۹ | ۱۴۴۱.۵۷ | ۵۷.۲۰ | ۳.۴۶ | ۱۴۴۹.۸۰ | ۵۷.۳۳۷ | ۳.۴۸۵ | ۰.۱۶۵ | ۰.۰۱۳ | ۱۲۸۹.۱۴۴ |
| سناریو ۷ | ۷۷.۲۱ | ۳.۴۹ | ۱۴۴۶.۴۶ | ۷۷.۱۰ | ۳.۴۸ | ۱۴۵۲.۹۳ | ۷۶.۸۸ | ۳.۴۷ | ۱۴۴۲.۵۲ | ۷۷.۱۰۱ | ۳.۴۸۶ | ۰.۳۱۱ | ۰.۰۰۷ | ۱۴۴۷.۳۰۵ |
| سناریو ۸ | ۶۰.۷۴ | ۳.۹۰ | ۱۴۴۲.۳۶ | ۶۰.۶۶ | ۳.۸۹ | ۱۴۴۱.۴۹ | ۶۰.۸۰ | ۳.۹۰ | ۹۴۶.۶۶ | ۶۰.۷۴۰ | ۳.۹۰۰ | ۰.۰۶۹ | ۰.۰۰۰۹ | ۱۲۷۶.۸۴۳ |
| سناریو ۹ | ۶۳.۵۸ | ۳.۸۱ | ۹۴۷.۶۵ | ۶۳.۱۴ | ۳.۸۰ | ۹۴۸.۷۶ | ۶۲.۷۲ | ۳.۷۸ | ۹۴۲.۰۹ | ۶۳.۱۵۲ | ۳.۸۰۲ | ۰.۴۳۲ | ۰.۰۱۴ | ۹۴۶.۱۷۲ |



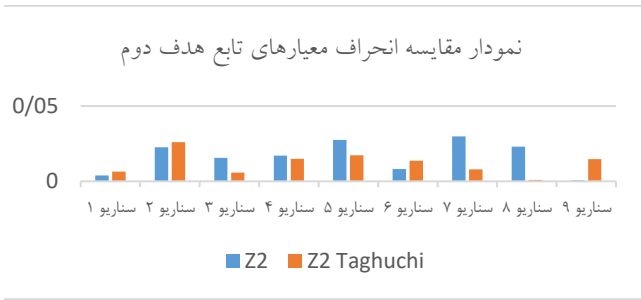
نمودار (الف): مقایسه میانگین‌های تابع هدف اول

۱-۶-۳- نمودارهای مقایسه‌ی خروجی‌های مدل با پارامترهای بدون تاگوچی و با تاگوچی برای الگوریتم NSGAI

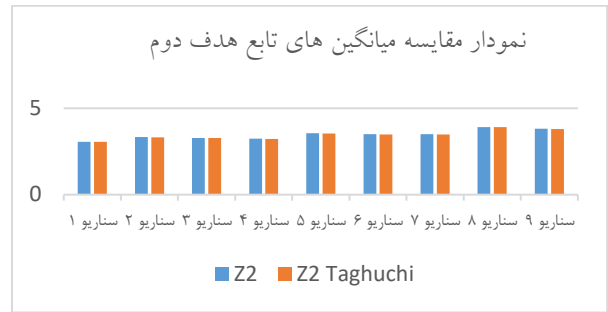
خروجی‌های مدل با پارامترهای بدون تاگوچی و با تاگوچی برای الگوریتم NSGAI با هم مقایسه می‌شوند. کلیه‌ی نمودارهای (۵) این مقایسات را نشان می‌دهند.

نمودارهای ۵: مقایسه‌ی خروجی‌های مدل با مقادیر تاگوچی و بدون

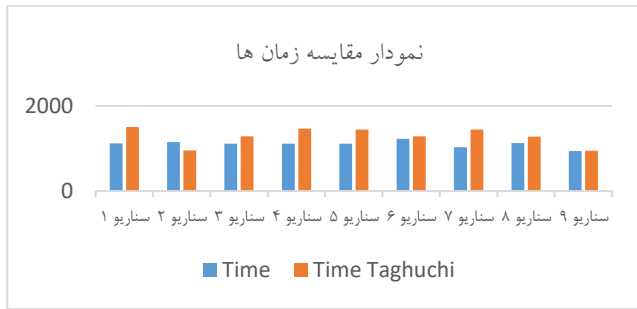
تاگوچی برای الگوریتم NSGAI



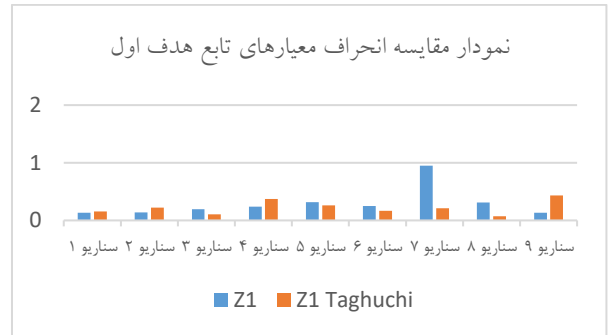
نمودار (د): مقایسه انحراف معیارهای تابع هدف دوم



نمودار (ب): مقایسه میانگین‌های تابع هدف دوم



نمودار (ه): مقایسه زمان‌ها



نمودار (ج): مقایسه انحراف معیارهای تابع هدف اول

۲-۶-۳- خروجی‌های مدل با پارامترهای بدون تاگوجی و با تاگوجی برای الگوریتم MOIWO

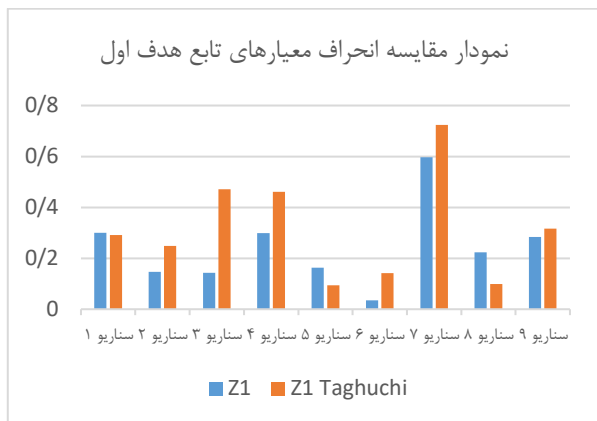
جدول ۱۷: خروجی مدل برای الگوریتم MOIWO به تفکیک هر سناریو

| مثال | تکرار اول | | | تکرار دوم | | | تکرار سوم | | | میانگین | | انحراف معیار | | میانگین زمان |
|----------|-----------|-----|-------|-----------|-----|-------|-----------|-----|-------|---------|-------|--------------|------|--------------|
| | Z1 | Z2 | زمان | Z1 | Z2 | زمان | Z1 | Z2 | زمان | Z1 | Z2 | Z1 | Z2 | |
| سناریو ۱ | ۶۱۶۴ | ۳۰۳ | ۶۶۲۱۰ | ۶۲۰۸ | ۳۰۴ | ۶۴۷۳۸ | ۶۲۲۱ | ۳۰۵ | ۶۵۰۸۷ | ۶۱۹۸۰ | ۳۰۴۶۱ | ۰۳۰۰ | ۰۰۰۶ | ۶۵۳۴۵۳ |
| سناریو ۲ | ۵۱۴۱ | ۳۲۹ | ۶۴۷۴۲ | ۵۱۷۰ | ۳۳۲ | ۶۴۷۵۹ | ۵۱۵۳ | ۳۳۱ | ۶۴۸۲۲ | ۵۱۵۵۲ | ۳۳۱۴ | ۰۱۴۷ | ۰۰۱۵ | ۶۴۷۷۵۲ |
| سناریو ۳ | ۵۳۳۲ | ۳۲۸ | ۶۴۸۶۴ | ۵۳۱۱ | ۳۲۵ | ۶۴۹۲۷ | ۵۳۰۴ | ۳۲۵ | ۶۴۸۴۱ | ۵۳۱۵۹ | ۳۲۶۵ | ۰۱۴۳ | ۰۰۱۳ | ۶۴۸۷۷۵ |
| سناریو ۴ | ۶۷۱۵ | ۳۲۱ | ۵۵۷۸۶ | ۶۶۸۳ | ۳۲۲ | ۶۴۷۸۱ | ۶۷۴۲ | ۳۲۳ | ۶۴۸۳۶ | ۶۷۱۳۷ | ۳۲۲۴ | ۰۲۹۸ | ۰۰۱۱ | ۶۱۸۰۱۶ |
| سناریو ۵ | ۵۵۰۷ | ۳۵۶ | ۶۵۴۱۰ | ۵۴۷۵ | ۳۵۶ | ۶۴۹۵۹ | ۵۴۸۳ | ۳۵۳ | ۶۴۹۰۷ | ۵۴۸۹۰ | ۳۵۵۵ | ۰۱۶۳ | ۰۰۱۴ | ۶۵۰۹۲۵ |
| سناریو ۶ | ۵۶۹۳ | ۳۴۹ | ۶۴۸۱۸ | ۵۶۸۹ | ۳۴۹ | ۶۵۰۰۳ | ۵۶۸۶ | ۳۴۸ | ۶۵۰۶۰ | ۵۶۸۹۸ | ۳۴۹۱ | ۰۰۳۵ | ۰۰۰۴ | ۶۴۹۶۰۶ |
| سناریو ۷ | ۷۶۰۹ | ۳۴۸ | ۶۱۲۲۱ | ۷۵۹۴ | ۳۴۸ | ۶۳۴۵۶ | ۷۷۰۴ | ۳۵۰ | ۶۴۷۸۷ | ۷۶۳۶۳ | ۳۴۹۳ | ۰۵۹۶ | ۰۰۰۸ | ۶۳۱۵۵۵ |
| سناریو ۸ | ۶۰۲۹ | ۳۹۰ | ۶۴۸۳۰ | ۵۹۸۵ | ۳۸۸ | ۵۹۸۰۳ | ۶۰۱۵ | ۳۹۰ | ۵۴۷۶۸ | ۶۰۱۰۲ | ۳۸۹۷ | ۰۲۲۲ | ۰۰۰۹ | ۵۹۸۰۰۸ |
| سناریو ۹ | ۶۲۸۸ | ۳۸۱ | ۵۸۹۲۷ | ۶۲۳۵۸ | ۳۷۹ | ۶۴۸۳۲ | ۶۲۷۹ | ۳۸۰ | ۴۸۹۷۰ | ۶۲۶۸۱ | ۳۸۰۸ | ۰۲۸۳ | ۰۰۰۹ | ۵۷۵۷۶۸ |

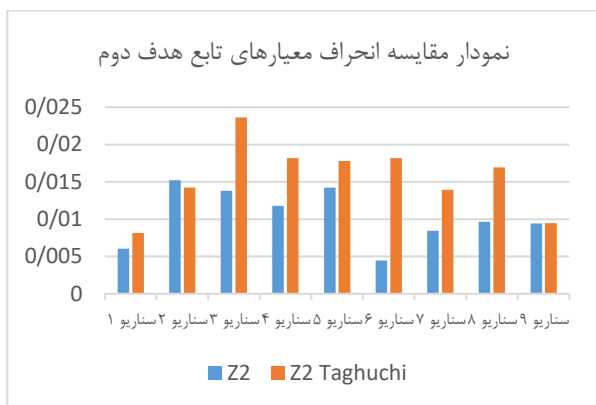
جدول ۱۸: خروجی مدل با تاگوجی برای الگوریتم MOIWO به تفکیک هر سناریو

| مثال تاگوجی | تکرار اول | | | تکرار دوم | | | تکرار سوم | | | میانگین | | انحراف معیار | | میانگین زمان |
|----------------|-----------|-----|--------|-----------|-----|--------|-----------|-----|--------|---------|------|--------------|------|--------------|
| | Z1 | Z2 | زمان | Z1 | Z2 | زمان | Z1 | Z2 | زمان | Z1 | Z2 | Z1 | Z2 | |
| سناریو ۱ | ۶۲۸۰ | ۳۰۹ | ۱۰۷۹۶۸ | ۶۲۷۳ | ۳۰۸ | ۱۰۵۱۱۹ | ۶۲۲۷ | ۳۰۸ | ۱۰۲۸۲۴ | ۶۲۶۰۳ | ۳۰۸۹ | ۰۲۹۰ | ۰۰۰۸ | ۱۰۵۳۰۳۹ |
| سناریو ۲ | ۵۱۳۶ | ۳۳۲ | ۹۷۹۷۶ | ۵۱۴۹ | ۳۳۲ | ۹۷۱۲۳ | ۵۱۸۴ | ۳۳۴ | ۹۷۸۲۹ | ۵۱۵۶۴ | ۳۳۳۱ | ۰۲۴۸ | ۰۰۱۴ | ۹۷۶۴۲۹ |
| سناریو ۳ | ۵۳۸۱ | ۳۳۱ | ۹۷۹۹۴ | ۵۳۰۶ | ۳۲۷ | ۹۸۲۰۲ | ۵۲۹۴ | ۳۲۹ | ۹۷۶۳۱ | ۵۳۲۷۶ | ۳۲۹۵ | ۰۴۷۱ | ۰۰۲۳ | ۹۷۹۴۲۸ |
| سناریو ۴ | ۶۷۵۸ | ۳۲۶ | ۶۶۳۴۵ | ۶۷۶۸ | ۳۲۶ | ۹۷۵۱۶ | ۶۶۸۴ | ۳۲۳ | ۹۷۵۷۹ | ۶۷۳۷۰ | ۳۲۵۲ | ۰۴۶۰ | ۰۰۱۸ | ۸۷۱۴۷۳ |
| سناریو ۵ | ۵۵۲۲ | ۳۶۰ | ۹۸۲۱۹ | ۵۵۰۷ | ۳۵۸ | ۹۷۷۲۳ | ۵۵۰۵ | ۳۵۷ | ۹۷۵۹۴ | ۵۵۱۱۸ | ۳۵۸۷ | ۰۰۹۳ | ۰۰۱۷ | ۹۷۸۴۵۷ |
| سناریو ۶ | ۵۷۳۱ | ۳۵۳ | ۹۸۱۷۱ | ۵۷۰۷ | ۳۵۱ | ۹۷۶۵۷ | ۵۷۰۵ | ۳۴۹ | ۹۷۶۶۱ | ۵۷۱۴۹ | ۳۵۱۲ | ۰۱۴۲ | ۰۰۱۸ | ۹۷۸۳۰۲ |
| سناریو ۷ | ۷۶۰۳ | ۳۴۹ | ۹۸۱۹۹ | ۷۶۴۶ | ۳۵۰ | ۹۷۵۵۹ | ۷۷۴۴ | ۳۵۲ | ۹۷۳۷۲ | ۷۶۶۴۸ | ۳۵۰۹ | ۰۷۲۳ | ۰۰۱۳ | ۹۷۷۱۰۴ |
| سناریو ۸ | ۵۹۹۱ | ۳۸۹ | ۹۷۵۸۸ | ۶۰۰۹ | ۳۹۲ | ۹۷۲۷۵ | ۶۰۰۹ | ۳۹۱ | ۹۷۲۲۹ | ۶۰۰۳۴ | ۳۹۱۳ | ۰۰۹۹ | ۰۰۱۶ | ۹۷۳۶۴۷ |

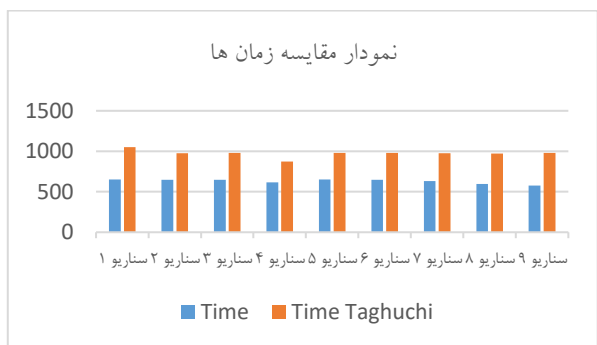
| | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| سناريو ۹ | سناريو ۸ | سناريو ۷ | سناريو ۶ | سناريو ۵ | سناريو ۴ | سناريو ۳ | سناريو ۲ | سناريو ۱ |
| ۹۷۸.۳۷۱ | ۰.۰۰۹ | ۰.۳۱۶ | ۳.۸۲۷ | ۶۲.۷۶۲ | ۹۷۶.۲۵ | ۳.۸۳ | ۶۲.۹۹ | ۹۷۸.۵۸ |
| ۳.۸۲ | ۶۲.۸۹ | ۹۸۰.۲۸ | ۳.۸۲ | ۶۲.۴۰ | ۳.۸۲ | ۶۲.۴۰ | ۳.۸۲ | ۶۲.۴۰ |



نمودار (ج): مقایسه انحراف معیارهای تابع هدف اول



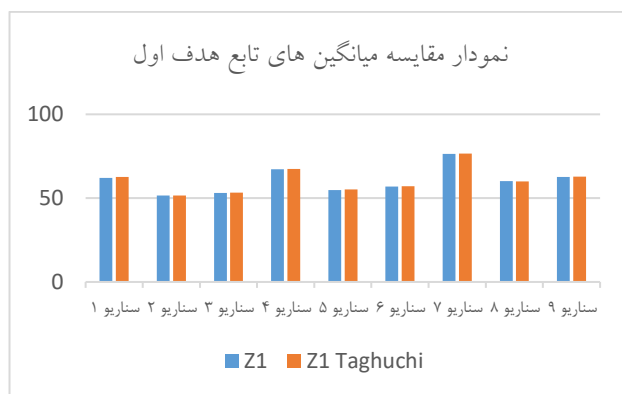
نمودار (د): مقایسه انحراف معیارهای تابع هدف دوم



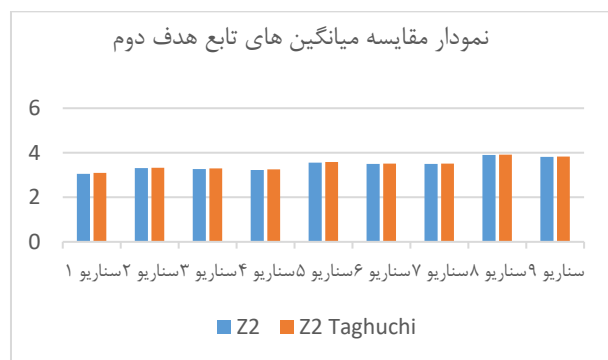
نمودار (ه): مقایسه زمان ها

۱-۲-۳- نمودارهای مقایسه‌ی خروجی‌های مدل با پارامترهای بدون تاگوچی و با تاگوچی برای الگوریتم MOIWO خروجی‌های مدل با پارامترهای بدون تاگوچی و با تاگوچی برای الگوریتم MOIWO با هم مقایسه می‌شوند. کلیه‌ی نمودارهای (۶) این مقایسات را نشان می‌دهند.

نمودارهای ۶: مقایسه‌ی خروجی‌های مدل با مقادیر تاگوچی و بدون تاگوچی برای الگوریتم MOIWO



نمودار (الف): مقایسه میانگین‌های تابع هدف اول



نمودار (ب): مقایسه میانگین‌های تابع هدف دوم

۴- نتیجه‌گیری

جمع‌بندی در مقاله‌ی حاضر یک مدل ریاضی دو هدفه با حداکثر نمودن

مقایسه‌ی کارایی هر یک از الگوریتم‌های فراابتکاری NSGAI و MOIWO نسبت به شاخص‌های تعریف شده می‌باشد. این نتایج به شرح جدول (۱۹) می‌باشند.

جدول ۱۹: مقایسه‌ی الگوریتم‌های حل نسبت به شاخص‌ها

| الگوریتم کارا تر | مبانی کارایی | شاخص |
|------------------|---|-------|
| NSGAI | هر چه این شاخص کمتر باشد، کارایی الگوریتم بیشتر خواهد بود. | MID |
| NSGAI | هر چه این شاخص کمتر باشد، کارایی الگوریتم بیشتر خواهد بود. | CPU T |
| MOIWO | هر چه این شاخص کمتر باشد، کارایی الگوریتم بیشتر خواهد بود. | SM |
| NSGAI | هر چه این شاخص بیشتر باشد، کارایی الگوریتم بیشتر خواهد بود. | QM |
| NSGAI | هر چه این شاخص بیشتر باشد، کارایی الگوریتم بیشتر خواهد بود. | DM |

از معیارهای تصمیم‌گیری برای مشخص کردن الگوریتم کارا تر با توجه به مراحل زیر استفاده شده است.

- ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری را تشکیل می‌گردد. هر درایه‌ی این ماتریس حاصل میانگین خروجی الگوریتم‌های NSGAI و MOIWO که ۲۷ بار در نرم‌افزار متلب ران شده است.

جدول ۲۰. ماتریس تصمیم‌گیری

| | C ₁ (QM) | C ₂ (DM) | C ₃ (SM) | C ₄ (CPUT) | C ₅ (MID) |
|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| A ₁ (NSAGII) | ۶۰.۴۵ | ۴۰.۰۸ | ۴۱۳.۴۱ | ۴۴۹.۷۵ | ۰.۷۳ |
| A ₂ (MOIWO) | ۵۴.۹۷ | ۲۶.۲۴ | ۱۳۹.۷۹ | ۱۸۳۲.۱ | ۰.۹۹ |

- برای بی‌مقیاس‌سازی از روش خطی استفاده می‌شود. چون جنس شاخص‌ها با هم فرق دارد برای اینکه جنس آنها یکی شود آنها را بی-مقیاس می‌کنیم.

جدول ۲۱. ماتریس بی‌مقیاس‌سازی شده

| | C ₁ (QM) | C ₂ (DM) | C ₃ (SM) | C ₄ (CPUT) | C ₅ (MID) |
|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| A ₁ (NSAGII) | ۱ | ۰.۶۵ | ۰.۳۳ | ۱ | ۱ |
| A ₂ (MOIWO) | ۰.۹۰ | ۱ | ۱ | ۰.۲۴ | ۰.۷۳ |

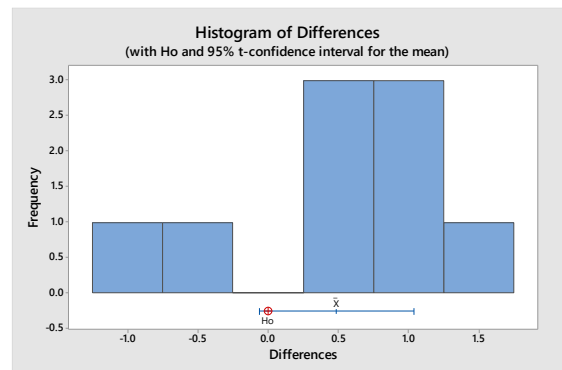
- برای انتخاب الگوریتم کارا تر از تکنیک Maximin استفاده شد. $\text{Max}\{0.33 \text{ و } 0.24\} = 0.33$ پس آترناتیو اول یعنی الگوریتم NSGAI به عنوان الگوریتم کارا تر انتخاب می‌شود.

برای مطالعات آتی استفاده از سایر روش‌های فراابتکاری همانند PSO

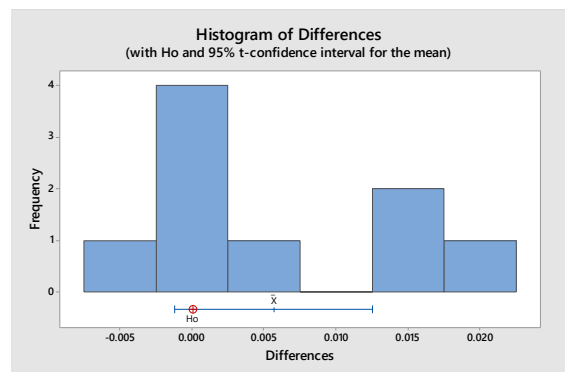
پوشش و کاهش حداکثر زمان انتظار ارائه شد. برنامه‌های مراقبت‌های بهداشتی پیشگیرانه می‌تواند باعث نجات جان انسان‌ها شود و به کیفیت بهتر زندگی و تشخیص زودهنگام بیماری‌های جدی کمک کند. مکان مراکز و تخصیص تعداد درست همراهان به آنها بر زمان انتظار مشتریان و طول صفی که تشکیل می‌دهند، تاثیر دارد. در واقع اگر مرکزی، کارکنان بیشتری داشته باشد (هزینه‌ی بیشتر)، زمان انتظار (یا طول صف) مشتریان کاهش می‌یابد. همچنین، با این فرض که مشتریان به مراکز نزدیک‌تر می‌روند، مکان این مراکز نسبت به مشتریان و مراکز دیگر، چیزی است که اساساً تعیین می‌کند چند مشتری از آنها خدمات می‌گیرند. هرچه مشتری بیشتری به یک مرکز تشویق شود، ازدحام بیشتر می‌شود و طول صف یا صف‌هایی که در آن مرکز تشکیل می‌شوند افزایش می‌یابد و مکان جذابیت کمتری خواهد داشت.

از آنجایی که استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری همواره با این اشکال مواجه هستند که جواب بهینه را ارائه نمی‌دهند لذا جهت اطمینان از صحت عملکرد جواب‌های به دست آمده این دو الگوریتم (NSGAI, MOIWO) با هم مقایسه شدند. نتایج این مقایسه نشان می‌دهد اختلاف معنی داری بین جواب‌های به دست آمده وجود ندارد. جهت اطمینان با برقراری آزمون فرض در نرم‌افزار Minitab تست معنی‌داری برای اختلاف میانگین‌ها برقرار شده است.

این موضوع در نمودارهای ۷ نشان داده شده است.



نمودار (الف): مقایسه‌ی میانگین نتایج به دست آمده برای تابع هدف اول



نمودار (ب): مقایسه‌ی میانگین نتایج به دست آمده برای تابع هدف دوم

و از الگوریتم‌های برنامه‌ریزی غیرخطی حل و مقایسه شود.

۵- منابع

- coverage radius,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 3, pp. 5620–5629, Apr. 2009.
- [13] Y. Zhang, O. Berman, and V. Verter, “Incorporating congestion in preventive healthcare facility network design,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 198, no. 3, pp. 922–935, 2009.
- [14] Y. Zhang, O. Berman, P. Marcotte, and V. Verter, “A bilevel model for preventive healthcare facility network design with congestion,” *IIE Trans.*, vol. 42, no. 12, pp. 865–880, 2010.
- [15] A. Ceder, “Optimal Multi-Vehicle Type Transit Timetabling and Vehicle Scheduling,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 20, pp. 19–30, 2011.
- [16] T. Kozasa, M. Tsukai, and A. Fujiwara, “A Development of Dynamic Road Network Planning Model Considering Step-by-step Construction of Links and Facility on Nodes,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 43, pp. 384–398, 2012.
- [17] A. Redmer, J. Žak, P. Sawicki, and M. Maciejewski, “Heuristic approach to fleet composition problem,” *Procedia-Social Behav. Sci.*, vol. 54, pp. 414–427, 2012.
- [18] Y. Zhang, O. Berman, and V. Verter, “Incorporating congestion in preventive healthcare facility network design,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 198, no. 3, pp. 922–935, Nov. 2009.
- [19] S. Javanmardi, H. Hosseinasab, and A. Mostafaeipour, “An exact Method for Stochastic Maximal Covering Problem of Preventive Healthcare Facilities,” vol. 10, pp. 10–23, 2017.
- [20] Y. Zhang, O. Berman, and V. Verter, “The impact of client choice on preventive healthcare facility network design,” *OR Spectr.*, vol. 34, no. 2, pp. 349–370, 2012.
- [21] H. Maghsoudlou, B. Afshar-Nadjafi, and S. T. A. Niaki, “Multi-skilled project scheduling with level-dependent rework risk; three multi-objective mechanisms based on cuckoo search,” *Appl. Soft Comput.*, vol. 54, pp. 46–61, 2017.
- [1] K. Walker, “Current issues in the provision of health care services,” *J. Consum. Aff.*, vol. 11, no. 2, pp. 52–62, 1977.
- [2] W. H. Organization, P. H. A. of Canada, and C. P. H. A. of Canada, *Preventing chronic diseases: a vital investment*. World Health Organization, 2005.
- [3] M. E. Gornick, P. W. Eggers, and G. F. Riley, “Associations of race, education, and patterns of preventive service use with stage of cancer at time of diagnosis,” *Health Serv. Res.*, vol. 39, no. 5, pp. 1403–1428, 2004.
- [4] W. H. Organization and others, “Integrating prevention into health care. Fact sheet 172,” 2010.
- [5] S. Javanmardi, H. Hosseinasab, and A. Mostafaeipour, “An exact Method for Stochastic Maximal Covering Problem of Preventive Healthcare Facilities,” *J. Ind. Syst. Eng.*, vol. 10, no. special issue on healthcare, pp. 10–23, Mar. 2017.
- [6] R. Church and C. ReVelle, “The maximal covering location problem,” in *Papers of the Regional Science Association*, 1974, vol. 32, no. 1, pp. 101–118.
- [7] J. E. Weiss, M. R. Greenlick, and J. F. Jones, “Determinants of medical care utilization: the impact of spatial factors,” *Inquiry*, vol. 8, no. 4, pp. 50–57, 1971.
- [8] O. Berman, “The maximizing market size discretionary facility location problem with congestion,” *Socioecon. Plann. Sci.*, vol. 29, no. 1, pp. 39–46, 1995.
- [9] B. Adenso-Diaz and F. Rodriguez, “A simple search heuristic for the MCLP: Application to the location of ambulance bases in a rural region,” *Omega*, vol. 25, no. 2, pp. 181–187, 1997.
- [10] V. Verter and S. D. Lapierre, “Location of Preventive Health Care Facilities,” *Ann. Oper. Res.*, vol. 110, no. 1, pp. 123–132, 2002.
- [11] V. Marianov, “Location of multiple-server congestible facilities for maximizing expected demand, when services are non-essential,” *Ann. Oper. Res.*, vol. 123, no. 1–4, pp. 125–141, 2003.
- [12] V. R. Ghezavati, M. S. Jabal-Ameli, and A. Makui, “A new heuristic method for distribution networks considering service level constraint and